

Nutrition minérale et fertilisation du cocotier dans le monde ⁽¹⁾

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3), et R. OCHS (4)

II. — ÉTUDE DES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS *(suite)*

8. — Soufre.

Des déficiences en soufre ont été observées par Southern [51] en Nouvelle-Guinée et Ollagnier et Ochs [52] à Madagascar.

Sur les jeunes plants, on observe des feuilles jaunes à oranges qui se nécrosent à l'extrémité et deviennent grises. Sur arbre plus âgé, l'ensemble de l'appareil foliaire est fortement réduit et d'un vert-jaune, les feuilles basses entièrement nécrosées pendent le long du stipe. La production de noix est très faible, celles-ci sont petites, le coprah est caoutchouteux et sa teneur en huile est fortement réduite (38 p. 100).

L'expérimentation conduite en Papouasie Nouvelle-Guinée a conclu à un effet similaire du soufre, du sulfate d'ammoniaque et du sulfate de potasse sur la coloration du feuillage qui reverdit en 6 mois, sur le nombre de feuilles qui passe de 14-15 à 21

en 13 mois, sur le nombre de noix/arbre qui augmente de 100 p. 100 et sur la qualité du coprah qui n'est plus caoutchouteux 6 mois après le traitement.

Pour Madagascar, nous avons vu dans le chapitre relatif au phosphore (II-2-c) qu'il est important de tenir compte du rapport N/S (SB-CC 3) qui, en cas de déséquilibre, entraîne des troubles nutritionnels graves. L'apport de N et de S séparément n'a qu'une très faible action. Par contre, un reverdissement rapide et spectaculaire est obtenu par l'application du sulfate d'ammoniaque, les niveaux de N et S étant relevés.

Les observations récentes montrent qu'il y a déficience pour une teneur inférieure à 0,130 et que le niveau critique pour la feuille de rang 14 doit être compris entre 0,150 et 0,200. Southern, en 1969, avait retenu la valeur de 0,015.

TABLEAU XVII. — Action des engrais sur la teneur en S de la feuille
(Effect of fertilizers on the S level in the leaf)

Pays (Country)	Expérience (Experiment)	Rang de la feuille (Leaf rank)	Effet Ne/ teneurs en Sf (Effect of Ne on Sf levels) (—) N	Effet Pe/ teneurs en Sf (Effect of Pe on Sf levels) (—) P	Effet Ke/ teneurs en Sf (Effect of Ke on Sf levels) (—) K	Effet Mge/ teneurs en Sf (Effect of Mge on Sf levels) (—) Mg	Effet Nae/ teneurs en Sf (Effect of Nae on Sf levels) (—) Na	Effet de (1)/ teneurs en Sf (Effect of (1) on Sf levels) (—) Cl
GRANDS (TALLS)								
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 3 (1971)	14	0,202 0,210	0,211 0,201	0,207 0,206	0,207 0,205	0,206 0,207	
	DA-CC 1	14	0,173 0,166		0,170 0,163	0,167 0,175	0,174 0,166 **	
Nilles-Hébrides (New Hebrides)	NH-CC 8	14	0,226 0,232	0,228 0,234 **	0,238 0,228 **			
Madagascar	SB-CC 3 sans (no) KCl	9	0,129 0,119	0,111 0,130 **				
	avec (with) KCl	9	0,124 0,129	0,117 0,131 *				
HYBRIDES								
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	PB-CC 16							
	25 mois (months)	4	0,240 0,206 **	0,222 0,225	0,254 0,201 **	0,200 0,237 **		
	5 ans (years)	4	0,226 0,211 **	0,219 0,222	0,271 0,123 **	0,201 0,231 **		
	6 ans (years)	9	0,204 0,191 **	0,197 0,196	0,223 0,177 **	0,180 0,205 **		
	8 ans (years)	14	0,191 0,190	0,189 0,188	0,208 0,176 **	0,175 0,198 **		
	PB-CC 18							
	31 mois (months)	4	0,227 0,198 **		0,219 0,206 **	0,210 0,216		
	8 ans (years)	14	0,393 0,370		0,318 0,445 **	0,376 0,387 **		
	PB-CC 31	14	0,203 0,232		0,230 0,203 **	0,193 0,232 **		
	DA-CC 2	4			0,172 0,165			
Philippines	PH-CC 8	4	0,162 0,170		0,164 0,168	0,165 0,169		0,172 0,162 **
NAINS (DWARFS)								
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)	DA-CC 3	4	0,189 0,189	0,184 0,197 **	0,195 0,188	0,189 0,189		

(1) Effet des chlorures (Cl) comparé aux sulfates (S) (Effect of chlorides — Cl — compared to sulphates — S).

(1) III* et dernière partie de la Communication présentée à la 5^e Session du Groupe de travail FAO sur la production, la protection et le traitement de la noix de coco, 3-8 décembre 1979, Manille (Philippines).

Les I^{re} et II^{re} parties ont paru respectivement dans les N^{os} de novembre et décembre 1979 d'*Oléagineux*.

(2) Département Cocotier de l'I. R. H. O. ; 11, Squ. Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Directeur des recherches à l'I. R. H. O., Paris (France).

(4) Directeur du Département Agronomie de l'I. R. H. O., IRHO/GERDAT, B. P. 5035 — 34032 Montpellier Cedex (France).

9. — Oligoéléments.

a) Bore.

Des déformations foliaires qui provoquent un retard dans la croissance ont été observées dans diverses parties du monde sur cocotier. Aux Salomon, Foale [41] estimait en 1962 qu'une bonne fumure NPK réduisait le nombre de cas de « little leaf ». A cette époque, ces cas de déformations étaient peu nombreux et n'inquiétaient pas les chercheurs.

Quelques années plus tard, à Madagascar et aux Nouvelles-Hébrides, des parcelles complètes comprenant plusieurs centaines d'arbres extériorisaient les mêmes symptômes de déformations.

En Côte-d'Ivoire, le phénomène s'intensifia. La similitude entre ces déformations et celles observées sur palmier à huile carencé en bore a conduit l'I. R. H. O. à mettre en place une expérimentation sur les effets du bore.

Les symptômes sont assez caractéristiques et s'observent avant que n'apparaissent les folioles en « baïonnettes » (Fig. 11) :

- au tout premier stade, les folioles sont plus courtes que la normale avec une décoloration jaune à jaune orangé dans le sens des nervures. Dufour, dans une étude non publiée, constate, sur jeune cocotier cultivé en vase de solution nutritive, la présence de petites taches géométriques blanches de quelques millimètres de largeur et de longueur qu'il attribue à la déficience en bore, sa solution nutritive étant exempte de cet oligo-élément ;

- les folioles terminales sont soudées ;

- les extrémités des folioles prennent la forme de « baïonnettes » ;

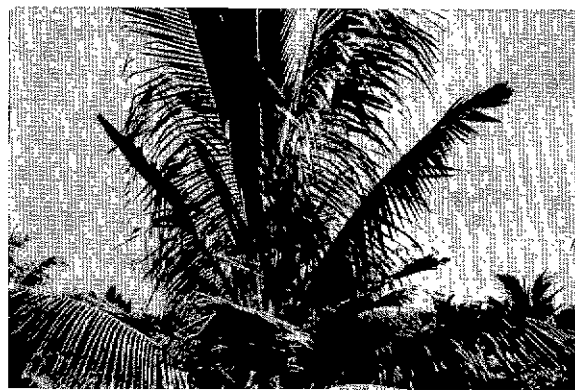


FIG. 11. — Déformations et raccourcissements foliaires dus à une déficience en bore (Leaf malformations and shortening due to boron deficiency).

- les bases pétiolaires des feuilles sont sans folioles ;
- la flèche est fortement raccourcie et les jeunes feuilles peuvent être réduites à un embryon de rachis sans foliole ;
- au stade ultime et dans les cas les plus graves et prolongés, le cocotier est représenté par un bourgeon central bulbeux qui ne se développe plus et qui est entouré de quelques bases pétiolaires sans folioles. L'arbre peut en mourir.

L'expérimentation conduite en Côte-d'Ivoire a montré que l'engrais boraté apporté à titre curatif sur des plants déformés de 4 mois est très bien absorbé mais n'a aucun effet sur les désordres observés ; les rémissions sont indépendantes des traitements. Dans une expérience établie en 1961 sur arbres Grands adultes (PB-CC 9), la dose de 20 g de bore appliquée par arbre/an, bien que toujours absorbée, n'a jamais eu d'effet sur la production. Le tableau ci-après donne les résultats de cette expérience.

Effet du bore sur la production

Années	Analyse foliaire F14		Production en coprah/arbre	
	sans bore	avec bore	sans bore	avec bore
1963	7,0	10,3 **	5,7	6,1
1964	6,2	9,3 **	12,4	12,8
1965	7,1	10,7 **	11,6	11,6
1966	6,0	8,7 **	12,9	13,3
1967	7,2	11,6 **	7,3	7,5
1968	6,6	10,8 **	11,9	12,1

Par contre, l'action préventive du bore appliqué dès la plantation a été démontrée expérimentalement ; on obtient 40 p. 100

d'anomalies dans les parcelles témoins, contre 0,2 p. 100 dans les parcelles recevant une fumure boratée.

Cependant, des phénomènes de phytotoxicité ont été observés après la chute d'une pluie. Dans ce cas, les extrémités des folioles rougeoient, se nécrosent et évoluent vers une teinte grise. En général, ces phénomènes n'ont pas un caractère de gravité, sauf si des différences notables de développement existent dans la plantation, les moins précoces étant les plus sensibles.

Sur les colluvions sableuses qui bordent le plateau tertiaire au Sud de la Côte-d'Ivoire, des phénomènes de phytotoxicité graves ont été observés sur cocotiers nains de Malaisie. Il semble, en effet, exister une sensibilité variétale à la déficience en bore, les anomalies ne se manifestant pas au même degré sur toutes les variétés. En Côte-d'Ivoire [50], dans l'expérience PB-GC 3 qui teste divers hybrides par comparaison avec la variété Grand Ouest Africain, celle-ci a extériorisé les déformations plus tard que les autres.

Brunin et Coomans [50], sur des plants ne présentant pas de symptômes de déficience en bore, ont mis en évidence une relation significative entre les teneurs en bore exprimées en ppm et les teneurs en calcium des feuilles de rang 4 ou la somme des teneurs en cations, exprimées en milliéquivalents. Ces relations sont reproduites dans les figures 12 et 13.

Dans une étude récente non publiée, Eschbach [58] trouve que les teneurs en bore de la feuille de rang 14 varient de 8 à 15 ppm en Côte-d'Ivoire, de 9 à 16 ppm à Madagascar et de 18 à 33 ppm sur les atolls coralliens et en Papouasie Nouvelle-Guinée. L'auteur précise que la feuille 4 a toujours des valeurs supérieures à 4,5 ppm et qu'il n'est pas possible de fixer le niveau optimal au-dessus duquel le cocotier ne présente plus de symptômes de carence, mais qu'il doit se situer entre 5 et 10 ppm.

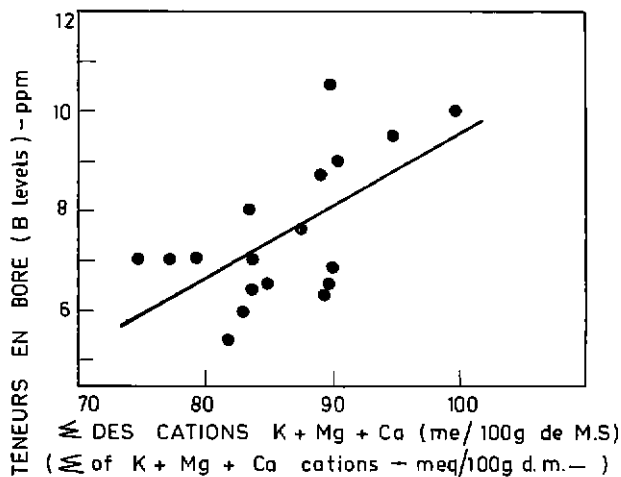


FIG. 12. — Relation entre les teneurs en bore et en cations de la feuille de rang 4 (Relationship between B levels and cation content in leaf rank 4).

Coefficient de corrélation : $r = 0,5914^{**}$.

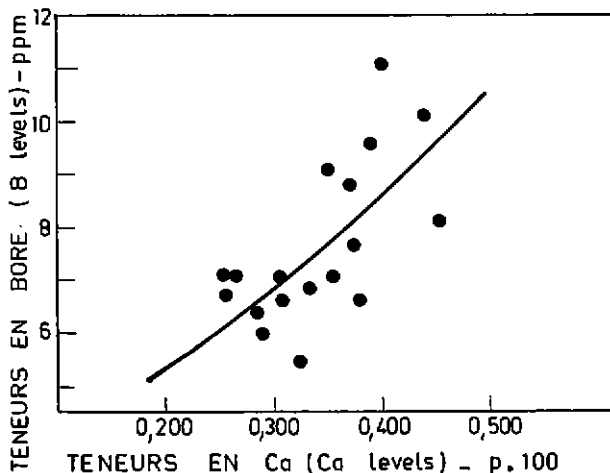
Equation de régression : $y = 0,147x - 0,512$.

FIG. 13. — Relation entre les teneurs en bore et en calcium — feuille de rang 4 (Relationship between B and Ca levels — leaf rank 4).

Coefficient de corrélation : Log teneurs en B — teneurs en Ca :

$r = 0,6726^{**}$.

Equation de régression : $y = 3,37 (10)^x$.



En conclusion, si des phénomènes intenses et fréquents de folioles soudées, ou en « baïonnettes », d'arrêt de croissance du bourgeon central, sont observés, il semble que le bore en soit le responsable. L'application d'une fumure boratée à la plantation, renouvelée tous les six mois pendant les deux premières années, évitera l'apparition de ces anomalies préjudiciables à l'entrée en production du cocotier.

Il est connu que des déformations similaires peuvent être dues à d'autres causes qu'une chute des niveaux de bore dans les feuilles.

b) Fer et manganèse.

En 1959, l'I. R. H. O. entreprenait l'étude des problèmes particuliers des atolls coralliens d'Océanie. En Polynésie, l'originalité du sol, très riche en carbonate de calcium, laissait supposer que les éléments métalliques, fer, manganèse, zinc, cuivre, ... étaient bloqués et rendus inassimilables par les racines des cocotiers. La première enquête de diagnostic foliaire avait révélé des carences sévères en fer, manganèse et azote.

Le problème était d'autant plus complexe que le sol était constitué d'éléments grossiers incapables de retenir l'eau et les engrais solubles susceptibles de corriger ces déficiences.

Un premier test comparant trois groupes de jeunes cocotiers illustre bien cette remarque :

— dans le 1^{er} groupe, les cocotiers sont plantés la noix non enterrée et reçoivent 10 g de sulfate de fer et 5 g de sulfate de manganèse dans la bourre qui favorisent le verdissement et une croissance normale ;

— dans le 2^e groupe, les cocotiers sont plantés dans le corail et le même traitement n'apporte qu'une amélioration temporaire ;

— dans le 3^e groupe, cocotiers plantés et traités comme dans le second, les effets des engrais sont aussi éphémères. Par contre, l'application d'une solution d'acide sulfurique à 20 p. 100, 5 mois plus tard, provoque un effet comparable à celui des arbres du 1^{er} groupe. Le carbonate qui empêchait l'assimilation des sels minéraux, est éliminé par l'acide et les libère à nouveau.

Ceci a conduit l'I. R. H. O. à utiliser l'injection dans le stipe comme moyen d'investigation. Pomier [19, 20] a confirmé que, comparé au manganèse, le fer était la carence essentielle et visible sur les atolls d'Océanie.

Le diagnostic de la carence ferrique par analyse foliaire est

délicat car le niveau critique de la feuille n'a pu être défini avec une précision suffisante. Les cocotiers sur sol pauvre peuvent présenter des symptômes de carence pour des teneurs en fer de 45 ppm de matière sèche dans la feuille 14, alors que d'autres, installés sur sol riche, sont encore verts à 30 ppm. On peut toutefois s'attendre à voir apparaître les symptômes visuels de carence ferrique pour des teneurs inférieures à 50 ppm.

Les symptômes sont ceux de la chlorose classique avec décoloration de vert pâle à jaune foncé pour l'ensemble des feuilles.

Le sulfate de fer, apporté aux doses de 5 et 10 g par plant dans la bourre, a une action spectaculaire sur le reverdissement des plants et augmente fortement le poids des plants (cf. tableau ci-après).

Action du fer et du manganèse sur le poids des plants à 20 mois (en kg)

Objets	Fe0	Fe1	Fe2	Effet principal de Mn p. 100	
Mn0	31,3	100,6	125,3	85,7	(100)
Mn1	35,5	120,2	155,9	103,9 **	(121)
Mn2	29,1	124,7	158,0	103,9 **	(121)
Effet principal de Fe	31,9	115,2	146,4 **		
p. 100	(100)	(361)	(459)		

L'action du manganèse est plus nuancée : l'augmentation du poids des plants est de 21 p. 100, contre 359 p. 100 au fer. Le sulfate de manganèse est sans action en absence de fumure ferrique. Une fois les carences en fer et en manganèse corrigées, apparaissent des déficiences en azote et en potassium.

Sur arbres en production, l'injection d'urée seule n'a qu'une faible action sur la production. Par contre, le fer double le nombre de noix produites ; cet accroissement est légèrement supérieur en associant le manganèse au fer ; la meilleure combinaison est obtenue en ajoutant l'urée aux sulfates de fer et de manganèse.

Les teneurs des feuilles en Fe et en Mn s'améliorent en même temps que les niveaux de N.

Objets	Production en nombre de noix					Analyse foliaire (1)					
	1960	1961	1962	1963	1965	N	Mn	Fe	N	Mn	Fe
Témoin	6	13	18	15	12				1,35	16	48
N	12	13	19	13	17	1,35	22	38	1,37	13	48
Fe	9	13	35	24	28	1,23	16	35	1,50	18	134
Mn, Fe	7	12	26	31	32	1,35	22	36	1,63	87	116
N, Mn, Fe	6	17	23	31	37	1,27	20	28	1,68	84	117

(1) N : en p. 100 de matière sèche ; Mn et Fe : en ppm de matière sèche.

Le tableau XVIII, d'après Eschbach, montre que les teneurs en fer sont assez variables, les plus basses se situant sur sols coralliens des atolls polynésiens et les plus élevées sur sables côtiers du Mozambique. Dans le tableau suivant, on note que les variations de teneurs sont fonction du type de sol et dépendent de la valeur du pH.

Pour le manganèse, les teneurs les plus basses se situent aussi sur sols d'origine corallienne ; les teneurs les plus élevées se

trouvent sur les sables quaternaires d'Afrique. L'influence du pH du sol est particulièrement nette dans le tableau ci-après pour les Nouvelles-Hébrides et les Philippines (cf. page suiv).

Il est difficile de définir un niveau critique.

Il a été montré, en Polynésie et aux Nouvelles-Hébrides, qu'une teneur de 30 ppm en manganèse dans la feuille 4 (arbre de 2 ans) était insuffisante et que les apports de manganèse devaient être associés au fer.

Pays	Sol	pH	Fe total du sol p. 100	Fe feuille (ppm)			
				R1	R4	R9	R14
Philippines	corail non altéré	8,1	36,3	45	80		
	corail altéré	7,3	32,6		72	88	
	sablo-argileux	6,0	22,9	57	69		
Côte-d'Ivoire	sables quaternaires	5,4	7,0		121	157	130
Mozambique	sables quaternaires	5,1	26,3	55	78		61
Polynésie	calcaire corallien	8,2	0,3	28	23	24	38
Nouvelles-Hébrides	calcaire corallien	7,9	7,1		74	79	80
	sol argileux				83	91	93

Pays	Sol	pH	Mn total sol (ppm)	Mn feuille (ppm)		
				R4	R9	R14
Polynésie	calcaire corallien	8,2				18
Nouvelles-Hébrides	sol corallien	7,9				16
	sol argileux de plateau	6,5				89
Philippines	corail non altéré	8,1	} ≈ 600	59	96	
	corail altéré	7,3		62		
	sablo-argileux	6,0		90		
Côte-d'Ivoire	sables quaternaires	5,4	83		194	237
Madagascar	sables quaternaires	5,1	1 370		328	340

TABLEAU XVIII. — Teneurs en oligoéléments dans diverses parties du monde
(Trace elements levels in various stations around the world)

Pays	Fe		Mn		Al		Cu		Mo		Zn	
	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14	R9	R14
Afrique												
Bénin	190	181	546	242	57	65	4,7	6,8	0,44	0,16	18	24
Comores (<i>Comoro Islands</i>)			92				4,6					
Côte-d'Ivoire (<i>Ivory Coast</i>)	150	129	212	242	62	79	6,2	6,5	0,35	0,28	19	19
Madagascar	91	115	292	114	53	63	4,6	4,1	0,21	0,10	15	20
Mozambique		279		188								
Togo	261		216				5,2					
Amérique												
Brésil (<i>Brazil</i>)		110	114	64			6,8					
Colombie			47	44								
Haïti	48	67	56	95								
Jamaïque (<i>Jamaica</i>)		75		111								
Mexique (<i>Mexico</i>)		82										
Panama	78		182									
Asie												
Sri Lanka	56	92	99	177	6	24	10,9	7,9			42	29
Indonésie (<i>Indonesia</i>) ..	69		480		127							
Malaisie (<i>Malaysia</i>)			261				6,5					
Philippines	70	91	35	88			5,8				11	
Océanie												
Mélanésie (<i>Melanesia</i>) ..	97	100	72	62			9,5	7,9				
Micronésie (<i>Micronesia</i>) ..		41		14				4,6				
Polynésie (<i>Polynesia</i>) ..		38		18								

c) Autres oligoéléments.

• Aluminium.

Les quelques valeurs connues en aluminium varient en moyenne de 6 à 127 ppm (feuille de rang 9). En Côte-d'Ivoire, les teneurs en Al augmentent avec le rang de la feuille (expérience PB-GC 29).

Rang de la feuille	1	4	9	14	19	24	29
Al (en ppm)	9	14	23	38	36	42	48

Le seuil de toxicité éventuelle n'est pas connu.

• Cuivre.

La carence en cuivre n'a jamais été rencontrée chez le cocotier et l'on ne connaît pas la teneur optimale. L'application de cuivre sous forme de chélates augmente les niveaux de Cu mais reste sans influence sur la croissance ou la production. Les carences en Cu sont à craindre dans les sols tourbeux ou à sulfates.

Une teneur de 5 à 7 ppm pour la feuille 14 semble suffisante.

• Molybdène.

Les teneurs moyennes évoluent de 0,09 à 0,44 ppm.

Une expérience en pépinière en Côte-d'Ivoire a montré que l'apport de Mo accroît les teneurs mais reste sans action sur la croissance des plants.

Traitement	Teneur en Mo
Témoin	0,15 ppm
2 g Nutramin (0,5 p. 100 Mo)	0,42 ppm *
4 g Nutramin (0,5 p. 100 Mo)	0,54 ppm **

Comme pour le cuivre, la carence en molybdène n'a jamais été mise en évidence et le niveau critique n'a pu être déterminé.

• Zinc.

Les niveaux de zinc varient de 15 ppm en Côte-d'Ivoire à 24 ppm au Bénin. Dans une expérience de Côte-d'Ivoire (PB-GC 33) sur hybrides P-B 121, Eschbach montre que des apports de P ou Mg augmentent significativement les teneurs en Zn alors que des apports de N ou K les abaissent.

Traitements	Teneurs en présence de			
	N	P	K	Mg
Niveau 0	23,9	21,3	22,9	20,8
Niveau 1	20,1 **	22,2	22,0	22,3 **
Niveau 2		22,5 *	21,0 *	23,0 **

Il n'est pas possible, là aussi, d'établir un niveau critique sans phénomène de carence.

d) Phénomènes particuliers de toxicité.

En omettant de citer le cas de la phytotoxicité du fluor observée en Côte-d'Ivoire par l'utilisation de superphosphate simple à 18 p. 100 de P_2O_5 , fabriqué à partir des phosphates naturels du Togo, ces quelques notes sur les oligoéléments ne seraient pas complètes.

Cette phytotoxicité se révèle essentiellement sur les plants en pépinière où le substrat est constitué de sable blanc lessivé, pauvre en bases échangeables, surtout en Ca et en P total.

En plantation, la fumure phosphatée ne pose pas de problème quant à la phytotoxicité du fluor, les doses apportées par unité de volume de terre étant beaucoup plus faibles que dans le cas d'une pépinière en sacs de plastique.

10. — Cas particuliers des cocotiers Nains.

Dans les techniques de production de semences hybrides les champs semenciers sont composés essentiellement d'arbres mères, la pollinisation étant entièrement assistée. Ce sont très souvent les cocotiers Nains qui sont choisis comme parent femelle pour la production de semences du type Nain × Grand.

Le coût de la gestion d'un champ semencier est élevé et l'on cherche à produire le maximum de semences en tenant compte de tous les facteurs. Des observations antérieures ont montré que les teneurs en magnésium des Nains sont plus faibles que celles généralement rencontrées sur Grand et les symptômes visuels de déficience sont assez accentués.

Cette tendance semble se retrouver chez l'hybride. Dans l'expérience PB-GC 5 de Côte-d'Ivoire, étudiant plusieurs hybrides, les niveaux de K et Mg sont plus faibles chez les hybrides de Nains que chez le Grand, bien que tous les cocotiers aient reçu la même fumure. Ce sont les hybrides de Nains Rouges et de Nains Verts qui ont les plus faibles teneurs.

	Teneurs en p. 100 de matière sèche	
	K	Mg
Grand × Grand	1,536	0,210
Nain Jaune × Grand	1,430	0,190
Nain Rouge × Grand	1,374	0,165
Nain Vert × Grand	1,477	0,164

C'est pour mieux gérer la fertilisation des champs semenciers qu'une expérience factorielle, DA-CC 3, de type 3^3 , étudiant N, K et Mg à trois niveaux et P par subdivision des parcelles, a été mise en place en 1977 sur Nain Jaune de Malaisie en Côte-d'Ivoire.

Sur Nains Verts, dans l'expérience F/9, le Coconut Industry Board à la Jamaïque n'a pas obtenu d'augmentation significative du nombre de noix en présence de chlorure de potassium, bien que les niveaux de K plafonnent à 0,5.

En Malaisie, Chew Poh Soon et Lee King Wat [55] dans une expérience factorielle 2^3 étudiant N, P et K sur Nain Rouge de Malaisie ont obtenu une action positive et significative d'une fumure azotée sur la croissance des plants (poids des feuilles) et le nombre de noix/arbre.

III. — INFLUENCE DES FUMURES SUR LA QUALITÉ DU COPRAH, SUR LA TENEUR EN HUILE DE COPRAH ET SUR LA COMPOSITION DE L'HUILE DE COPRAH

Dans une communication présentée au 13^e Colloque de l'Institut International de la Potasse, organisé en 1977 à York, Ochs et Ollagnier [56] évoquent ce problème.

1. — Influence des fumures sur la qualité du coprah et sur la teneur en huile du coprah.

Nous avons vu dans le paragraphe II-8, que Southern a constaté qu'une déficience en soufre réduisait le volume des noix, le coprah obtenu étant caoutchouteux avec un très faible pourcentage d'huile. L'application d'une fumure, sous forme de sulfate ou de soufre, agit très rapidement en donnant un coprah normal et en rétablissant la teneur en huile à 60 p. 100 quelques mois seulement après la première application.

La correction de la déficience en chlore, caractérisée également par une faible production de petites noix, augmente le coprah/noix (II-7-c).

L'étude du potassium a montré que la fumure potassique provoquait très souvent une augmentation du coprah/noix.

Des analyses d'huile de coprah ont été entreprises dans l'expérience PB-CC 16 pour vérifier si les fumures potassiques et magnésiennes, qui augmentent la production de coprah, avaient une incidence sur la teneur en huile. Les premiers résultats montrent qu'il n'existe pas de différences sur la teneur en huile du coprah, que les parcelles soient fertilisées ou non (valeur constante de 72 p. 100).

2. — Influence des fumures sur la composition de l'huile de coprah.

Les dernières analyses de l'expérience PB-CC 16 n'ont pas mis en évidence de différences dans la composition de l'huile de coprah en fonction des engrais appliqués. Cependant, il n'est pas exclu que la fumure ait une action à long terme.

IV. — LA PRATIQUE DE LA FERTILISATION

Une fois la (ou les) déficience mise en évidence, on procède au choix de l'engrais en déterminant la dose nécessaire qui est fonction de l'intensité de la déficience et de l'âge de l'arbre.

Les déficiences sont révélées par l'analyse foliaire. Le tableau XIX donne la tendance générale de celles-ci dans le monde et les engrais qui sont recommandés. Très souvent, les carences sont multiples et leur correction nécessite l'application de plusieurs éléments minéraux. Bien que les pourcentages des composants des engrais ne correspondent pas exactement aux exigences des cocotiers, il a été montré qu'en plus de la correction de la carence potassique, le chlorure de potassium peut limiter la déficience en chlore (Côte-d'Ivoire) comme le chlorure d'ammonium comble une partie du déficit en Cl ou en N (Philippines). Pour ce dernier, s'il s'avère que les déficiences en chlore associées à celles d'azote sont fréquentes en Asie, l'urée fabriquée localement ne représente pas la meilleure forme d'engrais. Il faudra donc se résoudre à l'achat de chlorure d'ammonium dont le seul fournisseur est le Japon.

C'est par l'expérimentation au champ que sont définies les doses nécessaires à la correction de la déficience.

Nous avons vu l'ensemble de ces problèmes dans les chapitres précédents ; nous ne donnons pas les doses d'engrais appliquées en fonction de l'âge du plant, parce qu'elles dépendent du contexte local.

Cependant, il reste à définir le mode d'application des engrais et leur date d'application.

1. — Mode d'application.

En 1965, l'I. R. H. O. définissait les règles à suivre pour la fumure manuelle des cocoteraies de l'Ouest africain en se basant sur les résultats de ses expériences au champ où des applications de chlorure de potassium en couronne autour du stipe lui avaient permis de doubler la production de coprah/arbre.

La largeur du cercle d'épandage variait avec l'âge de l'arbre et correspondait, en général, à l'aplomb des feuilles sur le sol. A cette époque, la progression était la suivante :

Rayon du cercle

à 1 an	0,40 m
2 ans	0,50
3 ans	0,80
4 ans	1,20
5 ans	1,60
6 ans et plus	2,00

Cette pratique concentre l'engrais au pied du stipe. Cette méthode fut confirmée par Ruer [5] en 1967 sur palmier à huile (Ruer donnait des cercles de rayon plus grand).

Le mode d'extension du système racinaire du cocotier conduisait logiquement à l'utilisation de cette méthode d'application et il est indiscutable que, dans le jeune âge, la concentration de l'engrais autour du plant, là où les racines sont présentes, donne la meilleure efficacité.

La création de plantations de type industriel, les conditions socio-économiques particulières de certaines régions, la nécessité de rechercher le mode d'épandage le plus économique ont conduit Ouvrier et Brunin [53] à étudier le développement du système racinaire du cocotier pour définir l'âge auquel un épandage mécanique a toute chance d'être aussi efficace qu'un épandage manuel. Les auteurs, en étudiant des arbres d'âge différent, concluent que l'épandage mécanique dans l'interligne dès l'âge de 5-6 ans est plus favorable à l'économie de la fumure minérale que l'épandage manuel lorsque l'interligne contient au moins le tiers des racines présentes dans la couronne d'épandage.

TABLEAU XIX. — **Tendance générale des déficiences chez le cocotier dans le monde**
(General tendency of deficiencies in coconut throughout the world)

Pays (Country)	Tendance principale des déficiences (Main tendency of deficiencies)	Déficiences occasionnelles (Occasional deficiencies)	Engrais recommandables (Fertilizers to be recommended)
AFRIQUE			
Côte-d'Ivoire (Ivory Coast)			
Sables quaternaires (Quaternary sands)	K — P — Mg	N	Chlorure de potassium-Superphosphate-Kiésérite-Urée (Potassium chloride-Superphosphate-Kieserite-Urea).
Sables tertiaires (Tertiary sands)	K — Mg	Cl — B	Chlorure de potassium-Kiésérite-Borax-Chlorure de magnésium (Potassium chloride-Kieserite-Borax-Magnesium chloride).
Sols concrétionnés (Soils with concretions)	K — P		Chlorure de potassium-Superphosphate simple (Potassium chloride-Single superphosphate).
Bénin			
Sables littoraux (Coastal sands)	K	N	Chlorure de potassium-Urée (Potassium chloride-Urea).
Mozambique	N	K	Urée ou sulfate d'ammoniaque-Chlorure de potassium (Urea or ammonium sulphate-Potassium chloride).
Madagascar	S — P — Mg	K — B	Sulfate de magnésie-Superphosphate simple-Borax-Chlorure de potassium-Kiésérite (Mg sulphate-Single superphosphate-Borax-Potassium chloride-Kieserite).
Seychelles			
Sols coralliens (Coral soils)	Mn — Fe — N	S — K	Sulfate de manganèse et de fer-Sulfate d'ammoniaque-Chlorure de potassium (Mn and Fe sulphate-Ammonium sulphate-Potassium chloride).
Sols granitiques (Granite soils)	N	Mn — Fe	Urée-Sulfate de manganèse et de fer (Urea-Mn and Fe sulphate).
ASIE			
Philippines	N — Cl — S	K	Chlorure d'ammonium-Sulfate d'ammoniaque-Chlorure de potassium (Ammonium chloride-Ammonium sulphate-Potassium chloride).
Inde (India)			
Sols littoraux (Coastal soils)	K — Mg	N	Chlorure de potassium-Kiésérite-Urée (Potassium chloride-Kieserite-Urea).
Sols concrétionnés (Soils with concretions)	P — K — N		Superphosphate ou phosphate naturel-Chlorure de potassium-Urée (Superphosphate or natural phosphate-Potassium chloride-Urea).
Sri Lanka	P — K	N	Chlorure de potassium-Superphosphate simple-Urée ou sulfate d'ammoniaque (Potassium chloride-Single superphosphate-Urea or ammonium sulphate).
Indonésie (Indonesia)			
Sols volcaniques (Volcanic soils)	N — P — Mg	K — B	Sulfate d'ammoniaque ou urée-Superphosphates-Kiésérite-Chlorure de potassium (Ammonium sulphate or urea-Superphosphates-Kieserite-Potassium chloride).
Sols alluviaux (Alluvial soils)	N — K	B	Sulfate d'ammoniaque-Chlorure de potassium (Ammonium sulphate-Potassium chloride).
Malaisie (Malaysia)	K	N	Chlorure de potassium-Urée ou sulfate d'ammoniaque (Potassium chloride-Urea or ammonium sulphate).
Thaïlande	N — P — K	Mg	Chlorure de potassium-Sulfate d'ammoniaque ou urée-Superphosphate simple-Kiésérite (Potassium chloride-Ammonium sulphate or urea-Single superphosphate-Kieserite).
AMÉRIQUE			
Mexique	N	K	Sulfate d'ammoniaque ou urée-Chlorure de potassium (Ammonium sulphate or urea-Potassium chloride).
Brésil	N — P — K		Sulfate d'ammoniaque ou urée-Superphosphate simple-Chlorure de potassium (Ammonium sulphate or urea-Single superphosphate-Potassium chloride).
Jamaïque (Jamaica)	N — P — K		Sulfate d'ammoniaque-Superphosphate simple-Chlorure de potassium (Ammonium sulphate - Single superphosphate - Potassium chloride).
OCÉANIE			
Atolls	Fe — Mn — N	N — K	Sulfate de fer et de manganèse-Urée-Chlorure de potassium (Fe and Mn sulphate-Urea-Potassium chloride).
Iles Hautes (High Islands)			
Sols coralliens évolués (Developed coral soils)	K	N — B	Chlorure de potassium-Sulfate d'ammoniaque-Borax (Potassium chloride-Ammonium sulphate-Borax).
Sols volcaniques (Volcanic soils)		Cl — K — B	Chlorure de potassium ou d'ammonium-Borax (Potassium or ammonium chloride-Borax).

Cependant, l'épandage mécanique à partir de 5-6 ans se heurte à un inconvénient majeur, les palmes décombantes gênant la progression du matériel et pouvant être arrachées, ce qui risque de blesser les arbres et de favoriser le développement des parasites.

L'épandage mécanique n'est pas utilisable dans toutes les situations. Mises à part les considérations d'ordre pratique (mouvements de terrain, présence de blocs coralliens...) il n'est pas possible d'épandre mécaniquement les oligoéléments dont les doses apportées sont souvent infimes (quelques dizaines de grammes). L'application de l'engrais dans un trou à la base du stipe ou l'injection dans le stipe sont des moyens plus efficaces pour faciliter l'absorption.

2. — Date d'épandage.

L'expérimentation entreprise au Mozambique a montré l'importance du choix de la date de l'application de la fumure minérale, dont l'efficacité dépend d'un minimum de solubilisation par les pluies. Si la période sèche n'est pas à retenir, les fortes pluies tropicales de la saison pluvieuse ont l'inconvénient de lessiver fortement les éléments apportés. La période la plus favorable est celle bénéficiant de pluies suffisantes pour faciliter l'absorption de tous les éléments minéraux, en profitant du maximum de l'activité microbienne.

Dans le cadre de programmes de développement nouveaux et importants, la fertilisation oblige de mettre en œuvre des moyens importants en matériel et en personnel pendant un laps de temps relativement court.

L'I. R. H. O. s'est attaché à l'étude de ce problème en Côte-d'Ivoire en mesurant l'effet d'épandages fractionnés comparativement aux applications uniques à différentes époques de l'année. Compte tenu de la présence de deux saisons pluvieuses dans ce pays, il a été retenu des applications avant la grande saison des pluies et entre les deux saisons.

Les résultats sont maintenant connus et l'action sur la croissance des jeunes plants est très faible; il n'existe pas de différences significatives, que l'engrais soit apporté en bloc, fractionné, avant ou entre les pluies.

Par contre, l'effet sur la précocité de floraison est assez net, l'avantage revenant à l'épandage fractionné et le plus mauvais effet étant obtenu pour les épandages effectués avant la grande saison des pluies; l'épandage total entre les deux saisons donne un résultat intermédiaire.

Ces différences se retrouvent au niveau des premières productions. L'apport global d'engrais entre les deux saisons est à peu près équivalent à l'apport fractionné alors que le traitement où les engrais sont apportés avant la grande saison des pluies ont une production plus faible. Sur les productions suivantes, les différences s'estompent; l'épandage fractionné est aussi avantageux que l'épandage global entre les deux saisons des pluies.

Cette remarque est importante car en cas de contraintes matérielles (transport, stockage, épandage) il est préférable d'allonger l'époque d'application des engrais et de faciliter ainsi l'organisation des plantations industrielles en apportant une partie de la fumure avant la grande saison des pluies et le reliquat entre les deux saisons plutôt que d'appliquer la dose totale en une seule fois sur une partie des plantations en avril et l'autre partie en août.

V. — RENTABILITÉ DE LA FERTILISATION. PROPOSITIONS D'ACTION

L'ensemble de l'étude qui précède a montré que la fertilisation du cocotier permet d'accroître rapidement les rendements lorsque l'état nutritionnel n'est pas optimal. La bonne connaissance de la cause d'une déficience en azote permet d'utiliser la méthode la plus économique pour corriger ce défaut, la fertilisation pouvant accroître les rendements de plus de 50 p. 100 (Mozambique). Dans de très nombreuses régions du monde, la correction de la déficience potassique entraîne une plus-value importante en coprah/ha sur les sols les plus pauvres en doublant la production.

La fertilisation phosphatée, dans certains cas et sur les sols les plus pauvres en phosphore, s'est avérée efficace et a provoqué des gains pouvant dépasser 40 p. 100. Les résultats spectaculaires obtenus par l'utilisation d'une fumure chlorée permettant d'atteindre des augmentations de productions certainement supérieures à 100 p. 100, laissent bien augurer de la rentabilité de l'engrais chloré.

Dans des combinaisons multiples, le magnésium est susceptible d'apporter des augmentations de 40 p. 100. Sans fer, les cocoteraies des atolls d'Océanie ont des productions dérisoires; l'injection d'un sel de fer double la production mais c'est en association avec le manganèse et l'azote que les rendements sont triplés. L'action préventive d'un engrais boraté sur jeunes cocotiers évite l'apparition de déformations préjudiciables à l'entrée en fructification de la plantation; ce retard cause une perte financière importante eu égard à la dépense modeste de

l'apport d'engrais correspondant qui permet d'éviter ces inconvénients.

Le niveau de rentabilité de la fertilisation est naturellement fonction des coûts des matières premières.

1. — Rentabilité de la fertilisation.

Tous les agronomes qui ont à s'occuper des problèmes de fertilisation s'attachent à définir le niveau de rentabilité de l'augmentation de production qu'ils obtiennent dans les cocoteraies car ils estiment que le planteur doit être largement rétribué de l'effort qu'il a fourni et de la dépense qu'il a engagée.

D'autre part, au niveau national les augmentations de rendements dues à la fertilisation ont l'avantage de limiter les importations de coprah, économisant d'autant les devises étrangères. Le renchérissement des coûts de l'énergie et, en particulier, la revalorisation du prix du pétrole dont la répercussion est considérable au niveau des dépenses de production, ont une incidence notable sur le prix de revient des engrais.

Cependant, le monde est conscient de l'obligation dans laquelle il se trouve d'accroître la masse des produits agricoles pour faire face à la demande, elle-même en étroite liaison avec l'augmentation de la population et l'élévation de son niveau de vie. Ho Kwon Ping (Far Eastern Economic Review, juillet 1979) pose différents problèmes qui surgissent dans le monde agricole de l'Asie, et plus particulièrement celui du développement rural en fonction du coût des engrais, là où se situent les 90 p. 100 de la cocoteraie mondiale. L'Inde ne satisfait pas sa demande en engrais; au Sri Lanka, dont le prix des carburants a doublé en juin (alors que l'agriculture est très mécanisée), 48 p. 100 des 430 000 t d'engrais importés ont été subventionnés; le Bangladesh a importé 50 p. 100 de sa consommation d'engrais, estimée à 1 million de t; la Thaïlande importe 80 p. 100 de ses engrais et a reçu une assistance étrangère pour la fourniture de 11 p. 100 de sa consommation totale (700 000 t); ce sont les producteurs de riz qui utilisent la majeure partie des 770 000 t d'engrais importés en Malaisie; c'est également un programme d'accélération pour la culture du riz qui va augmenter la demande d'engrais des Philippines dont la consommation devrait passer de 800 000 t en 1979 à 1,4 million de t dans 5 ans; par contre, l'Indonésie a exporté 500 000 t d'urée vers les Philippines, le Pakistan et l'Inde mais s'est vue contrainte d'importer 2,7 millions de t de riz pour satisfaire les besoins de sa population; on estime à 3,5 millions de t les importations de 1990!

Mais quelle est la part d'engrais que reçoit la cocoteraie alors que de nombreuses déficiences ont été détectées dans le monde?

Dès le commencement de cet article, nous avons répondu à cette question en citant le cas des Philippines où l'on estime à 30 000 ha les cocotiers fertilisés sur les 2,7 millions plantés, tout juste 1 p. 100!

L'analyse des documents publiés par la F. A. O. sur l'Indonésie où existent 2,2 millions d'ha de cocotiers montre que la consommation totale d'engrais a été de 488 000 t en 1977, dont 351 000 d'azote, 107 000 de phosphore et 30 000 de potasse. L'azote étant absorbé par des cultures comme le riz, le phosphore n'étant pas partout le premier facteur limitant de la production de la cocoteraie, et un tonnage important des 30 000 t de potasse étant absorbé par la palmeraie, on s'aperçoit qu'il ne reste rien pour les 2,2 millions d'ha de cocotiers.

En Malaisie, dont la cocoteraie est plus modeste et ne couvre que 300 000 ha, 88 p. 100 de l'engrais est utilisé pour le palmier à huile, le caoutchouc et le riz; les 12 p. 100 restants se répartissent entre 3 300 ha de maïs, 14 200 ha de légumes, 19 200 ha de bananes, 33 300 ha de cacao, 16 900 ha d'ananas et... 300 000 ha de cocotiers. Il est facile d'imaginer, compte tenu de ce qui précède et de l'affirmation de Ho Kwon Ping, selon laquelle la plus grande partie de l'engrais est utilisée pour la riziculture, que la cocoteraie reçoit peu d'engrais.

Et pourtant, Coomans [27] constate en Côte-d'Ivoire, en travaillant sur Grand Ouest Africain, qu'en fonction des prix des engrais et du coprah, les variations des doses optimales économiques sont faibles. Pour assurer une bonne gestion de la nutrition minérale, l'auteur utilise le diagnostic foliaire et montre que la fumure apporte une plus-value importante dont le

rapport $\frac{\text{plus-value}}{\text{dépenses d'engrais}}$ est égal à 3,4.

Ochs [8] confirme cette rentabilité en se référant à divers auteurs au Sri Lanka ($R = 1,7$), aux Philippines ($R = 2,8$), ... Dans certaines situations aux Indes, la rentabilité peut aller de $R = 2,5$ à 3,6. Sur matériel végétal hybride, Ochs obtient à 5 ans, avec une formule comportant l'association d'un engrais potassique et d'un engrais magnésien, une valeur de $R = 8,71$ et tous les investissements dus à la fumure sont rentabilisés à l'âge de 5 ans pour une jeune plantation hybride, plus précoce et plus productive.

La fertilisation est donc un excellent moyen d'améliorer la productivité et ainsi de faire face à la demande croissante de corps gras dans le monde et plus particulièrement des populations des zones tropicales. Pour certains pays, une politique de fertilisation bien comprise, basée sur des résultats scientifiques dont l'application au niveau de l'exploitation industrielle a déjà fait ses preuves, leur permettrait de passer d'une période de

disette à celle, sinon de l'opulence, du moins de la suffisance et de voir l'avenir avec plus de sérénité.

Car enfin, on peut s'étonner qu'en présence d'un potentiel de plusieurs millions d'hectares de cocoteraies, des pays du Tiers Monde se voient dans l'obligation d'importer des corps gras.

Cette situation est-elle sans solution ?

2. — Propositions d'action.

Techniquement, la solution réside dans une meilleure connaissance des sols et la détermination de la hiérarchie des déficiences. L'analyse foliaire est un excellent moyen de détection de ces carences. Plusieurs exemples sont à notre disposition. En Thaïlande, le programme de fertilisation de la F. A. O. des années 1974-1975 était basé en partie sur l'analyse de quelques échantillons foliaires (130 au total) et a conduit à l'établissement d'un programme de fumure en liaison avec des analyses de sols.

Aux Philippines, le projet d'enquête P. N. U. D. dont il a été question au paragraphe II-7-c, confirme le grand intérêt de l'application de l'analyse foliaire à l'établissement d'une cartographie des carences. Le schéma philippin fut le suivant :

- détermination du niveau nutritionnel des cocoteraies par analyse foliaire ;
- interprétation des résultats en fonction des caractéristiques particulières des conditions des plantations et des sols ;
- mise en place de champs de démonstration pour vérifier l'action de la fumure retenue.

Les dernières publications de Magat [54] qui figurent au paragraphe II-7-c sont une excellente démonstration du bien-faict de l'utilisation du diagnostic foliaire comme méthode de dépistage des déficiences. L'augmentation de production de coprah/arbre est au moins égale à 30 p. 100 et peut atteindre 200 p. 100.

Cependant, un programme de restauration et de modernisation de la cocoteraie se heurte bien souvent à des problèmes autres que ceux de l'agronomie. L'intervention doit faire face à la dispersion des exploitations, à la faible surface des propriétés des exploitants (moyenne 0,2 ha par famille en Inde), à la pauvreté des paysans qui sont incapables de financer une quelconque amélioration. D'où l'importance de la méthodologie.

Depuis quelques années, l'I. R. H. O. apporte son concours technique à l'Indonésie, intéressée par le développement de cet oléagineux dont l'huile de coprah est aux 2/3 consommée par les familles. L'Indonésie, dont la consommation interne a considérablement augmenté, doit importer des corps gras pour faire face à la demande de sa population.

Le gouvernement indonésien a créé des Coconut Working Centres (C. W. C.) qui sont les unités d'action spécialisées au niveau villageois et dépendent d'une Direction générale traitant des problèmes techniques au niveau provincial. L'ensemble est chapeauté au niveau national par la Direction générale des Plantations au Ministère de l'Agriculture et est très bien structuré. Le Coconut Working Centre :

- intervient sur une surface d'environ 3 000 ha ;
- procède à la sélection massale indispensable à l'obtention des semences nécessaires aux pépinières ;
- assure le fonctionnement des pépinières ;
- agit sur la qualité du coprah par la formation des paysans.

Les tâches dévolues aux C. W. C. sont évolutives ; elles peuvent être complétées par les techniques nouvelles mises au point par les chercheurs, une assistance technique et scientifique de haut niveau leur définissant leur mode d'intervention. L'I. R. H. O. a proposé un certain nombre de principes :

- conserver une excellente liaison avec la recherche pour utiliser les derniers résultats acquis dans tous les domaines ;
- procéder à l'interprétation des études entreprises au niveau du Centre National de Recherches et des Unités Régionales (champs de démonstration) ;
- assurer l'information par l'établissement d'instructions techniques destinées aux agents des C. W. C. et aux fermiers ;
- améliorer la connaissance du milieu. Action au niveau de la lutte parasitaire. Intervention dans la détermination des déficiences et gestion de la nutrition minérale ;
- prévoir l'avenir en établissant des programmes cohérents de développement en tenant compte du contexte local.

En résumé, l'action des engrais sur la production du cocotier est rapide et il faut utiliser cette formule élégante d'intervention par le schéma suivant :

- définir et caractériser les sols ;
- procéder au choix judicieux de prélèvements foliaires ;
- interpréter les analyses foliaires en tenant compte des caractéristiques de sols et de climat ; déterminer la hiérarchie des déficiences ;
- établir les formules de fumure ;
- confirmer ces formules par des champs de démonstration dont le but est de convaincre les agriculteurs de la rentabilité de l'opération ;
- mettre en place une organisation de financement et de crédit.

La tâche est immense.

La combinaison de l'amélioration génétique du matériel végétal et de l'application d'une fumure minérale adéquate conduit à des rendements très élevés, sans commune mesure avec ceux du passé. Il a été nettement mis en évidence la forte précocité de l'hybride réalisé entre le Nain Jaune de Malaisie et le Grand Ouest Africain, et son excellente capacité de production qui dépasse 6 t de coprah/ha/an. Cependant, cette production n'est atteinte qu'au voisinage d'un bon équilibre nutritionnel. Le paragraphe II-3-d montre, par exemple pour l'expérience PB-CC 16 où existe une double déficience potassique et magnésienne, qu'une cocoteraie non fertilisée peut ne produire que 33 p. 100 de son potentiel.

Dans les nouveaux programmes de plantation ou d'extension, il faut donc compter avec la fertilisation de la cocoteraie, au risque de perdre une part importante du potentiel productif.

Ces programmes s'effectuent maintenant pour une bonne part avec le cocotier hybride dont les semences sont produites dans des jardins grainiers. La surface totale de ces jardins est légèrement supérieure à 2 000 ha dans le monde. En régime de croisière 1 ha de champ semencier permet de planter 60 ha de cocotiers hybrides par an. Les Philippines ont le jardin grainier le plus vaste du monde, qui couvrira à terme 1 500 ha. Les Autorités prévoient que, dans les 10 prochaines années, la capacité de replantation annuelle sera de l'ordre de 50 000 ha. Après la 5^e année, et sur une base de 400 kg d'engrais nécessaires par ha, les 750 000 ha correspondants nécessiteront une quantité de 300 000 t d'engrais par année, ce qui équivaut au 1/3 du tonnage utilisé au cours de l'année 1979 aux Philippines pour toutes les cultures. On peut imaginer l'incidence que cela provoquera lorsque 2 millions d'ha seront remplacés et on voit la répercussion économique considérable que cette technique aura sur l'ensemble de l'archipel, d'autant plus que, dans ce cas particulier, ce sont l'azote et le chlore qui sont les principaux éléments déficients et que le chlorure d'ammonium sous-produit de la verrerie a de fortes chances d'être d'une rentabilité appréciable.

En Indonésie, trois jardins grainiers sont plantés et totalisent 730 ha dont 150 sont opérationnels et 350 le seront en 1980. On peut faire le même raisonnement que précédemment et estimer que les réalisations nouvelles seront de 30 000 ha d'hybrides par an. Si, après étude de la nutrition minérale, on constate que les besoins en potassium, magnésium et phosphore sont importants, l'étude à l'échelon national devra résoudre le problème de l'approvisionnement en engrais et celui du règlement en devises. En 5 ans, pour 30 000 ha annuels, les 150 000 ha de plantations nouvelles exigeront 60 000 t d'engrais !

Il n'existe donc qu'une alternative, celle où la régénération de la cocoteraie est source de bien-être en utilisant toutes les techniques modernes mises au point par l'homme, ou celle où la régénération sera source de problèmes avec les répercussions économiques désastreuses qu'elle aura engendrées.

CONCLUSION

L'étude qui précède donne suffisamment de résultats pour montrer que la fertilisation peut être source d'augmentations de production très importantes.

Les progrès réalisés par la recherche depuis une vingtaine d'années conduisent à une bonne compréhension des problèmes agronomiques de la cocoteraie.

Une méthodologie se dessine.

La prospection par le diagnostic foliaire, associée à une bonne connaissance des sols, est un excellent moyen d'investigation pour dresser le bilan de la nutrition.

L'enquête foliaire et son interprétation doivent être suivies de la mise en place d'un réseau expérimental d'accompagnement pour confirmer les hypothèses émises, définir le degré de réponse et le niveau de rentabilité des fumures, et préciser les liaisons entre les éléments. Rappelons que c'est par l'expérimentation que le rôle du chlore a été mis en évidence dans la nutrition du cocotier.

Les résultats acquis sont transmis aux agriculteurs par des équipes de vulgarisation qui assurent en même temps la liaison avec l'organisation responsable du crédit.

Mais les scientifiques ne peuvent se tenir pour satisfaits tant que 1 p. 100 seulement de la cocoteraie sera fertilisée. Il faut se rendre à l'évidence que ce bilan aboutit à un constat d'inutilité de la recherche par suite de mauvaises liaisons « recherche/développement » au niveau des échelons nationaux, de mauvaises liaisons « services de vulgarisation/paysan », du manque de disponibilités d'engrais appropriés dans les campagnes, de la difficulté à résoudre les problèmes de financement.

Par une bonne coordination entre les chercheurs et les responsables du développement, la Côte-d'Ivoire fait exception ; son organisation lui a permis de créer 30 000 ha de plantations nouvelles dont les 2/3 à caractère industriel sont entièrement fertilisés ; 40 p. 100 seulement du tiers restant, exploités par les villageois, ne reçoivent pas de fumure minérale.

Pour les services de planification, de grandes options sont en concurrence. Faut-il préférer l'exportation d'engrais azoté à son

utilisation sur les cultures vivrières ou le cocotier en particulier, dix fois plus rentable. Les économies nationales seraient largement bénéficiaires si les pays pouvaient accorder gracieusement aux fermiers les engrais qui leur sont nécessaires pour augmenter leurs rendements, quitte à réduire de quelques p. 100 le prix d'achat du coprah. Peut-être y a-t-il là matière à réflexion ? Puisque l'obtention de hauts rendements dans les cocote-

raies constitue l'une des possibilités de combler le déficit en corps gras des pays dont la population et la consommation n'ont cessé de croître depuis ces 20 dernières années, il est souhaitable que la fertilisation des cocotiers devienne une pratique courante comme elle l'est pour les autres cultures. La solution réside en partie dans la création d'un appui scientifique et technique et d'une recherche d'accompagnement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] OCHS R. (1977). — Les contraintes écologiques du développement des oléagineux pérennes (Palmier et Cocotier) en Afrique Occidentale et Centrale. *Oléagineux, Fr.*, 32, N° 11, p. 461-468.
- [2] OCHS R. (1977). — Les contraintes techniques du développement des oléagineux pérennes (Palmier et Cocotier) en Afrique Occidentale et Centrale. *Oléagineux, Fr.*, 32, N° 11, p. 469-477.
- [3] NATHANIEL W. R. N. (1958). — Diagnostic approaches to problems in crop nutrition. *Ceylon Coconut Quarterly*, 9, N° 3-4, p. 11-29.
- [4] SALGADO M. L. M. (1954). — The nutrient content of nut water in relation to available soil nutrients as a guide to the manuring of the coconut palm (*Cocos nucifera*). In : *Analyse des plantes et problèmes des engrais minéraux*, VIII^e Congrès International de Botanique, Paris, p. 217-238.
- [5] OLLAGNIER M., OCHS R., MARTIN G. (1970). — La fumure du palmier à huile dans le monde. *Fertilité, Fr.*, N° 36, 64 p.
- [6] PILLAI K., DAVIS T. A. (1963). — Exhaust of macronutrients by the coconut palm. A preliminary study. *Indian Coconut Journal*, 16, N° 2, p. 81-87.
- [7] FREMOND Y., ZILLER R., DE NUCE DE LAMOTHE M. (1966). — *Le cocotier*, Maisonneuve et Larose, Paris, 267 p.
- [8] COPELAND (Ed.) (1931). — *The coconut*, Mac Millan Co, London.
- [9] OUVRIER M., OCHS R. (1978). — Exportations minérales du cocotier hybride PB 121. *Oléagineux, Fr.*, 1978, 33, N° 8-9, p. 437-443.
- [10] CHAPMAN G. W., GRAY H. M. (1949). — Leaf analysis and the nutrition of oil palm. *Ann. Bot., G. B.*, 13, N° 2, p. 415-433.
- [11] I. R. H. O. — *Rapports d'activités*.
- [12] OLLAGNIER M., OCHS R., DANIEL C. (1976). — Alimentation en chlore du palmier à huile et du cocotier. Application à la fertilisation. *Document IRHO*, 62 p., non publié.
- [13] MARTIN-PREVEL P. (1978). — Rôle des éléments minéraux chez les végétaux. *Fruits, Fr.*, 33, N° 7-8, p. 521-529.
- [14] COOMANS P. (1974). — Variations saisonnières de la composition minérale des feuilles de cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 29, N° 6, p. 297-304.
- [15] FREMOND Y., GONCALVES A. J. L. (1967). — Nutrition minérale et carence azotée dans les cocoteraies du Mozambique. *Oléagineux, Fr.*, 22, N° 10, p. 601-606.
- [16] RAMANANDAN P. L., PILLAI N. G. (1974). — Effect of continuous cultivation and maturing on the leaf nutrient composition and soil nutrient status of coconut palms. *Journal of Plantation Crops, India*, 2, N° 2, p. 1-3.
- [17] KHOO KAY THYE, CHEW POH SOON, EDDIE CHEW (1976). — Effect of nitrogen application on coconut palms grown on coastal alluvial clay soils in Peninsular Malaysia. *Proceedings of the East Malaysia Planters' Association, Cocoa Coconut Seminar, Tawau, Sabah, Malaisie*, 18 p.
- [18] KUNHI MULIYAR M., NELLIAT E. V. (1971). — Response of coconut palms (*Cocos nucifera* Linn.) to N, P and K fertilizer application on the West coast of India. *Oléagineux, Fr.*, 26, N° 11, p. 687-691.
- [19] POMIER M. (1969). — Nutrition minérale des jeunes cocotiers sur sols coralliens. *Oléagineux, Fr.*, 24, N° 1, p. 13-19.
- [20] POMIER M. (1964). — Restauration et nutrition des cocoteraies établies sur sol corallien. *Oléagineux, Fr.*, 19, N° 10, p. 615-620.
- [21] FREMOND Y., DE NUCE DE LAMOTHE M. (1968). — Nutrition minérale du cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 23, N° 2, p. 93-97.
- [22] SMITH R. W. (1968). — The effect of fertilizer on the early growth and yield of Malayan Dwarf coconuts in Jamaica. *FAO Technical Working Party on Coconut Production, protection and processing*, N° 7, 14 p.
- [23] OLLAGNIER M., OCHS R. (1973). — Interaction entre l'azote et le potassium dans la nutrition des oléagineux tropicaux. *Oléagineux, Fr.*, 28, N° 11, p. 493-507.
- [24] PREVOT P., OCHS R. (1962). — Diagnostic foliaire du cocotier. Influence du rang de la feuille et du développement végétatif sur les teneurs en éléments. *Oléagineux, Fr.*, 17, N° 5, p. 451-462.
- [25] BRUNIN C. (1968). — Phosphore et cocoteraie adulte. *Oléagineux, Fr.*, 23, N° 5, p. 303-307.
- [26] VERNON A. J., EMOSE P. N., MUDALIAR T. (1976). — Coconut fertilizer yield trials in Fiji. *Fiji Agricultural Journal*, 38, N° 2, p. 49-60.
- [27] COOMANS P., OCHS R. (1976). — Rentabilité des fumures minérales sur cocotier dans les conditions du Sud-Est Ivoirien. *Oléagineux, Fr.*, 31, N° 8-9, p. 375-382.
- [28] MENON K. P. V., PANDALAI K. M. (1957). — *The coconut palm. A monograph*. Indian Central Coconut Committee, Ernakulam, India, 384 p.
- [29] CHEW POH SOON (1978). — Nutrition of coconuts — a review for formulating guidelines on fertilizer recommendations in Malaysia. *Planter, Malaysia*, 54, p. 115-147.
- [30] FREMOND Y. (1965). — Contribution de l'I. R. H. O. à l'étude de la nutrition minérale du cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 20, N° 2, p. 89-95.
- [31] ZILLER R., FREMOND Y. (1961). — Nouveaux résultats sur la fumure du cocotier en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux, Fr.*, 16, N° 5, p. 293-300.
- [32] SUMBAK J. H. (1976). — Process of two coconut fertilizer trials in Papua-New Guinea. *Oléagineux, Fr.*, 31, N° 10, p. 427-434.
- [33] MAGAT S. S. (1976). — Soil and leaf analysis in relation to coconut yield. *The Philippine Journal of Coconut Studies*, 1, N° 2, p. 1-9.
- [34] FREMOND Y., VILLEMAIN G. (1964). — Fumure minérale sur cocoteraie âgée en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux, Fr.*, 19, N° 6, p. 403-409.
- [35] FREMOND Y., OUVRIER M. (1971). — Importance pour le cocotier d'une nutrition minérale convenable dès la plantation sur sable côtier. *Oléagineux, Fr.*, 26, N° 10, p. 609-616.
- [36] CECIL S. R., PILLAI N. G., MATHEW A. S., KAMALAKSKY AMMA P. G. — Effect of application of N, P, K, Ca and Mg on young West coast tall palms in the root (wilt) affected area. *Kapangulam, India*. Non publié.
- [37] BRUNIN C., COOMANS P., OUVRIER M. (1975). — Etude de la nutrition minérale des jeunes cocotiers hybrides en pépinière. *Oléagineux, Fr.*, 30, N° 6, p. 251-258.
- [38] COOMANS P. (1975). — Influence des facteurs climatiques sur les fluctuations saisonnières et annuelles de la production du cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 30, N° 4, p. 153-159.
- [39] KANAPATHY K. (1976). — Leaf analysis and fertilizer requirements of coconuts. *Malaysian agric. J.*, 50, N° 3, p. 322-339.
- [40] DANIEL C., MANCIOT R. (1978). — La nutrition en chlore des jeunes cocotiers aux Nouvelles-Hébrides. *Oléagineux, Fr.*, 28, N° 2, p. 71-72.
- [41] JOINT COCONUT RESEARCH SCHEME, Yandina. — Solomon Islands. *Rapports Annuels*.
- [42] FOALE M. A. (1965). — Nutrition du jeune cocotier dans les Iles Russell. *Oléagineux, Fr.*, 20, N° 10, p. 585-588.
- [43] BRUNIN C. (1970). — La nutrition magnésienne des cocoteraies en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux, Fr.*, 25, N° 5, p. 269-274.
- [44] COOMANS P. (1977). — Premiers résultats expérimentaux sur la fertilisation des cocotiers hybrides en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux, Fr.*, 32, N° 4, p. 155-166.
- [45] POMIER M., BRUNIN C. (1974). — Irrigation des cocotiers à l'eau salée. *Oléagineux, Fr.*, 29, N° 4, p. 183-186.
- [46] OLLAGNIER M., OCHS R. (1971). — La nutrition en chlore du palmier à huile et du cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 26, N° 6, p. 367-372.
- [47] ARNON D. I. (1949). — Is chloride a coenzyme of photosynthesis? *Science*, 110, p. 554-556.
- [48] UEXKULL H. R. Von (1972). — Response of coconuts to (potassium) chloride in the Philippines. *Oléagineux, Fr.*, 27, N° 1, p. 13-19.
- [49] MAGAT S. S., CADIGAL V. L., HABANA J. A. (1975). — Yield improvement of coconut in elevated inland area of Davao (Philippines) by KCl fertilization. *Oléagineux, Fr.*, 30, N° 10, p. 413-418.
- [50] BRUNIN C., COOMANS P. (1973). — La carence en bore sur jeunes cocotiers en Côte-d'Ivoire. *Oléagineux, Fr.*, 28, N° 5, p. 229-234.
- [51] SOUTHERN P. J. (1969). — Sulphur deficiency in coconuts. *Oléagineux, Fr.*, 24, N° 4, p. 211-220.
- [52] OLLAGNIER M., OCHS R. (1972). — Les déficiences en soufre du palmier et du cocotier. *Oléagineux, Fr.*, 27, N° 4, p. 193-198.
- [53] OUVRIER M., BRUNIN C. (1974). — Densités racinaires dans une cocoteraie industrielle et techniques d'épandage des engrais. *Oléagineux, Fr.*, 29, N° 1, p. 15-17.
- [54] MAGAT S. S. (1979). — The use of leaf analysis in the conduct of coconut field fertilizer trials in the Philippines. *The Philippine Journal of Coconut Studies*, 4, N° 1, p. 32-38.
- [55] CHEW POH SOON, LEE KING WAT (1972). — Preliminary results from a coconut manuring trial on coastal clay. In : *Cocoa and coconuts in Malaysia. The Incorporated Society of Planters, Kuala Lumpur, Malaysia*, p. 376-385.
- [56] OCHS R., OLLAGNIER M. (1977). — Effet des engrais sur la composition des lipides produits par des oléagineux tropicaux pérennes et sur leur rendement. *Oléagineux, Fr.*, 32, N° 10, p. 409-426.
- [57] MENGEL K., KIRKBY E. A. (1978). — Principles of plant nutrition. *International Potash Institute, Berne, Switzerland*, 393 p.
- [58] CROIX-MARIE A. (1976). — La nutrition du cocotier. *Bibliographie 1900-1974*, I. R. H. O., 142 p.
- [59] ESCHBACH J. M. — Les oligoéléments dans la nutrition du palmier à huile et du cocotier (Non publié).
- [60] CHAPMAN H. A. (1966). — Diagnostic criteria for plants and soils. *Univ. California, Riverside, U. S. A., Div. Agric. Sci.*, p. 748.
- [61] CHILD R. (1964). — *Coconuts*. Longman, London, 216 p.
- [62] COCONUT INDUSTRY BOARD Jamaica, *Annual reports*.
- [63] PHILIPPINE COCONUT AUTHORITY. *Annual Report*, 1975-1976.

SUMMARY

Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world.

R. MANCIOT, M. OLLAGNIER and R. OCHS, *Oléagineux*, 1979, **34**, N° 11, p. 499-515, N° 12, p. 563-580 ; **35**, N° 1, p. 13-27.

The relative importance of coconut in the production of vegetable fats has shrunk in the course of the last 40 years because insufficient efforts have been made to improve the planting material and to intensify its cultivation.

In particular, mineral fertilization is still an exceptional practice even though it has been shown in many countries that the use of fertilizers is perfectly profitable even on random material. It is true that the coconut groves in the big producer countries have aged and that part of them have reached an age when yield falls and the effect of fertilizers is no longer so intense. So that it is rather more in the framework of the large renovation projects now going on; that fertilization can play a major role by enabling the total expression of the potential of the new hybrid material, incomparably more productive.

Potassium, chlorine and nitrogen predominate in the coconut's mineral exports. Responses to potassium fertilization are the most frequent, since the plant does not often have a chance to satisfy its needs completely in tropical soils, usually very poor in nitrogen, responses to nitrogenous fertilization are less frequent; can it be concluded that "invisible" contributions by the rains or by the fixing of atmospheric nitrogen have been underestimated? As for chlorine, which is now considered to be an essential mineral element for coconut, because of its relative abundance in nature deficiencies are generally limited to specific situations, sheltered from the influence of the sea. Phosphorus, magnesium and sulphur also come into play, but they are often implied in multiple responses where both the cation and anion balances have a more important role than with other cultivated plants. In terms of fertilization, this peculiarity of the coconut underlines the care which must be taken in the choice of the salts used as fertilizers.

As regards the trace elements, boron sometimes plays an important part during immaturity, as it does in the oil palm, and a deficiency can provoke the sudden stoppage of growth. Iron and manganese deficiencies are found on coral soils.

It is easy to correct mineral deficiencies in the coconut. Manurings are very profitable and usually give an added value of at least three times the outlay when the balance and the quantities applied are close to the optimum.

The rapid action of fertilizers on root absorption makes the coconut rather sensitive to errors in diagnosis; nevertheless, these can be avoided by using control leaf analysis and by referring to the results of field experiments set up by the support research.

Fertilizer requirements vary greatly according to the quality of the soils used, and the latter range from the poorest sandy soils of the seaboard to the richest volcanic ones. These requirements, in which potassium often predominates, can be reduced considerably by restituting the husks, which consume more than half the potassium taken up by the plant.

Transformed by the advent of the hybrid coconut accompanied by a rational fertilizer policy, coconut growing has become one of the best tools for development and for the improvement of the standard of living of small farmers in the tropical world.

RESUMEN

Nutrición mineral y fertilización del cocotero en el mundo.

R. MANCIOT, M. OLLAGNIER y R. OCHS, *Oléagineux*, 1979, **34**, N° 11, p. 499-515, N° 12, p. 563-580 ; **35**, N° 1, p. 13-27.

La importancia relativa del cocotero en la producción de las grasas vegetales ha disminuido durante los cuarenta últimos años, porque no se hizo bastantes esfuerzos para mejorar el material vegetal e intensificar los métodos de cultivo.

La fertilización mineral, en especial, aún sigue una práctica excepcional, a pesar de haberse demostrado en muchos países que el empleo de los fertilizantes era perfectamente rentable, hasta en material vegetal no seleccionado. También es verdad que los cocotales de los grandes países de producción han envejecido, llegando parte de los mismos a la edad de menor producción y de efecto menos intenso de fertilizantes. O sea que dentro de los grandes proyectos actuales de renovación es donde la fertilización puede desempeñar un papel muy importante, permitiendo que el nuevo material vegetal híbrido que es incomparablemente más productivo, exprese totalmente su potencial.

El potasio, el cloro y el nitrógeno predominan en las exportaciones minerales del cocotero. Además las respuestas más frecuentes corresponden a la fertilización potásica, porque los suelos tropicales que suelen ser muy pobres en potasio, atienden muy pocas veces a todas las necesidades de la planta. A pesar de ser también muy pobres en nitrógeno los suelos tropicales, las respuestas a la fertilización nitrogenada son menos frecuentes; ¿Será posible llegar a la conclusión de que los suministros ocultos por las lluvias o por la fijación de nitrógeno atmosférico han sido infravalorados? En cuanto se refiere al cloro, que ahora se considera un elemento mineral esencial para el cocotero, debido a su relativa abundancia en la naturaleza, las deficiencias suelen limitarse a situaciones particulares protegidas de la influencia marina.

También intervienen el fósforo, el magnesio y el azufre, pero muchas veces están envueltos en las respuestas múltiples en que el equilibrio de cationes y también de aniones desempeña un papel más importante que en otras plantas cultivadas. En lo que respecta a fertilización, esta particularidad del cocotero muestra que se debe seleccionar con mucho cuidado las sales empleadas como fertilizantes.

En lo relativo a oligoelementos, el boro desempeña a veces un papel importante en la edad temprana, como en la palma aceitera, ocasionando la carencia una interrupción repentina del crecimiento; las carencias de hierro y manganeso se observan en los suelos coralinos.

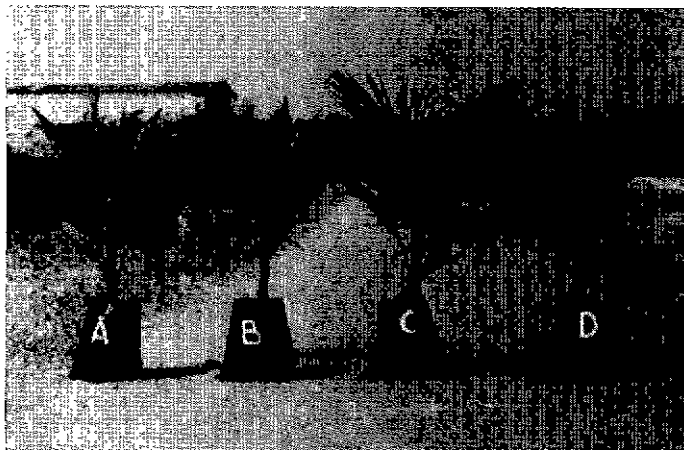
Las deficiencias minerales del cocotero son fáciles de corregir. Los abonados son muy rentables y suelen proporcionar una plusvalía por lo menos triple del gasto efectuado, cuando se los aplica en cantidades y equilibrios próximos al nivel óptimo.

La acción rápida de abonos sobre la absorción radical tiene por resultado que el cocotero sea relativamente sensible a las equivocaciones de diagnóstico que sin embargo pueden ser evitadas fácilmente mediante el uso del análisis foliar de control y refiriéndose a las pruebas de campo establecidas por la investigación de acompañamiento.

Las necesidades de abono son muy variables con arreglo a calidad de los suelos utilizados cuya gama se extiende desde el suelo arenoso más pobre del litoral hasta los suelos volcánicos más ricos. Estas necesidades que muchas veces quedan dominadas por el potasio pueden ser notablemente reducidas por la restitución de las borras que consumen más de la mitad del potasio absorbido por la planta.

El cultivo del cocotero que ha sido transformado por el desarrollo del cocotero híbrido y que viene junto con una política racional de fertilización, ha llegado a ser uno de los mejores instrumentos para el fomento y la mejora del nivel de vida de los pequeños terratenientes campesinos de la zona tropical.

Influence de la forme d'azote sur la croissance de jeunes plants en pépinière (Influence of the form of nitrogen on the growth of young plants in the nursery).



A = urée (urea).
B = sulfate d'ammoniaque
(ammonium sulphate).

C = ammonitrate.
D = témoin (control).

Mineral nutrition and fertilization of the coconut around the world (1)

R. MANCIOT (2), M. OLLAGNIER (3) and R. OCHS (4)

II. — STUDY OF THE DIFFERENT ELEMENTS (continued)

8. — Sulphur.

Sulphur deficiencies have been observed by Southern [51] in New Guinea and Ollagnier and Ochs [52] in Madagascar.

On young plants there are yellow to orange leaves, which decay at the tips and become grey. On older trees, all the foliage is reduced and becomes yellow-green, the lower leaves are completely decayed and hang down the trunk. Very few nuts are produced, and they are small, with rubbery copra and a very small oil content (38 p. 100).

Experiments conducted in Papua-New Guinea concluded that there was a similar effect of sulphur, ammonium sulphate and potassium sulphate on leaf colour, which reverted to green within 6 months, on leaf number which increases from 14-15 to 21 in 13 months, on the number of nuts/tree which augments 100 p. 100, and on the quality of the copra, which is no longer rubbery 6 months after treatment.

For Madagascar, we saw in the chapter concerning phosphorus (II-2-c) that it is important to take account of the N/S ratio (SB-CC 3), as serious nutritional disturbances result from an imbalance. The application of N and S separately has only a very weak action. On the other hand, speedy and remarkable re-greening follows ammonium sulphate dressings, both N and S levels being raised.

Recent observations show that there is a deficiency when the contents are below 0.130, and that the critical level for frond 14 should be between 0.150 and 0.200. In 1969 Southern had retained a value of 0.015.

9. — Trace elements.

a) Boron.

Malformation of the leaves causing retarded growth have been seen on coconuts in various parts of the world. In the Solomon Islands, Foale [41] estimated in 1962 that a good NPK manuring reduced the number of cases of « little leaf ». At that time, such malformations were a rare occurrence and did not worry research workers.

A few years later, whole plots of several hundred trees in Madagascar and the New Hebrides were developing the same distortions. In the Ivory Coast, the phenomenon intensified. The similarity between these malformations and those found on oil palm deficient in boron led the I. R. H. O. to start experiments on the effects of that element.

The symptoms are quite characteristic, and can be seen before « hook leaf » appears :

— in the very earliest stage, the leaflets are abnormally short, with yellow to orange-yellow discolouring along the ribs. In an unpublished study, Dufour notes that on a young coconut grown in a pot with a nutrient solution he found small, white geometric spots a few mm long and wide, which he attributes to a boron deficiency, as this trace element did not enter into his nutrient solution ;

- the terminal leaflets are welded together ;
- the tips of the leaflets take on the « hook leaf » form ;
- there are no leaflets at the bases of the leaf stalks ;
- the spear is greatly foreshortened and the young leaves may be merely an embryo of rachis without leaflets ;
- at the last stage and in the worst cases and those which last

longest, the coconut is left with a bulbous growing point which has stopped developing and which is surrounded by a few linna-less leaf bases ; they tree can die.

The experiments in the Ivory Coast have shown that the borated fertilizer given as a curative measure to deformed plants four months old is very well absorbed but has no effect on the disorders observed ; remissions are independent of the treatments. In an experiment set up in 1952 on mature Talls (PB-CC 9), the rate of 20 g boron/tree/year, although always absorbed, never had any effect on yield. The table below gives the results of the trial.

Effect of boron on production

Years	Leaf analysis F14 without B	Leaf analysis F14 with B	Production in copra/tree without B	Production in copra/tree with B
1963	7.0	10.3 **	5.7	6.1
1964	6.2	9.3 **	12.4	12.8
1965	7.1	10.7 **	11.6	11.6
1966	6.0	8.7 **	12.9	13.3
1967	7.2	11.6 **	7.3	7.5
1968	6.6	10.8 **	11.9	12.1

On the other hand, the preventive action of boron applied from planting has been shown experimentally ; there are 40 p. 100 anomalies in the control plots against 0.2 p. 100 in those getting borated manuring.

However, signs of phytotoxicity have been observed after rainfall ; the tips of the leaflets become red, necrose and turn grey. These manifestations are usually not serious, except in plantations where there are big differences in development, the least precocious trees being the most sensitive.

On the sandy colluvial soils edging the tertiary plateau in the South of the Ivory Coast, serious symptoms of phytotoxicity have been seen on Malayan Dwarf coconuts. It seems, indeed, that there is a varietal sensitivity to boron deficiency, the degree of abnormality depending on the variety. In the Ivory Coast [50] in experiment PB-GC 3 which tests various hybrids by comparison with West African Tall, the latter exteriorizes deformities later than the others.

Brunin and Coomans [50], on plants showing no signs of boron deficiency, have demonstrated significant relationships between the boron levels in ppm and the Ca levels in leaf rank 4 or the sum of the cation contents in meq/100 g. These relationships are illustrated by the figures 11 and 12.

In a recent, unpublished study, Eschbach [58] finds that the B levels in leaf 14 vary from 8 to 15 ppm in the Ivory Coast, 9 to 16 ppm in Madagascar and 18 to 33 ppm on the coral atolls and in Papua-New Guinea. He states that leaf 4 always has values above 4.5 ppm and that it is not possible to fix an optimum level over which the coconut no longer shows any deficiency symptoms, but it is probably somewhere between 5 and 10 ppm.

To conclude, if these intense and frequent phenomena of welded leaflets, « hook leaf », arrested growth of the growing point are observed, it seems that boron is responsible. The application of borated fertilizer repeated every six months for the first two years, will avoid the appearance of these anomalies, prejudicial to the start of bearing.

It is known that such malformations can be due to causes other than a drop of the boron levels in the leaves.

b) Iron and manganese.

In 1959 the I. R. H. O. undertook a study of problems specific to the coral atolls of Oceania. In Polynesia, the originality of the soil, very rich in calcium carbonate, suggested that the metallic elements — iron, manganese, zinc and copper — were blocked

(1) III rd part of the communication presented to 5th Session of the F. A. O. Technical Working Party on Coconut Production, Protection and Processing, 3-8 dec. 1979, Manila (Philippines). The 1st and II nd parts were published in the November and December 1979 numbers of *Ollagnier*.

(2) Coconut Department, I. R. H. O., 11, sq. Pétrarque, 75016 Paris (France).

(3) Director of Research, I. R. H. O., Paris.

(4) Director, Agronomy Department, I. R. H. O., IRHO/GERDAT, B. P. 5035-34032 Montpellier Cedex (France).

and rendered nonassimilable by the coconut roots. The first leaf analysis enquiry revealed severe iron, manganese and nitrogen deficiencies.

The situation was made even more complicated by the fact that the soil was composed of coarse particles incapable of retaining either water or the soluble fertilizers likely to correct these deficiencies.

A first test comparing three groups of young coconuts is a good illustration of this :

— in the first group the coconuts are planted with the nut out of the earth and receive 10 g iron sulphate and 5 g manganese sulphate in the husk ; this favours greening and normal growth ;

— in the second group, the coconuts are planted in the coral, and the same treatment only gives temporary improvement ;

— in the third, planted and treated as the second, the effects of fertilizers are just as ephemeral ; on the other hand, the application of a solution of sulphuric acid at 20 p. 100 five months later leads to the same result as with the trees of the first group ; the carbonate which prevents the assimilation of the mineral salts is eliminated by the acid and liberates the salts once again.

This led the I. R. H. O. to use injection in the trunk as a means of investigation. Pomier [19, 20] has confirmed that, compared to manganese, it is iron which is the essential and visible deficiency on the Oceanian atolls.

The diagnosis of iron deficiency by leaf analysis is tricky, as it has not been possible to define the critical level in the leaf with sufficient precision. Consequently, coconuts on poor soil can show deficiency symptoms when the iron level in leaf 14 is 45 ppm dry matter, whereas others growing in rich soil are still green at 30 ppm. Nevertheless, visible signs of ferrous deficiency can be expected to appear when the values are below 50 ppm.

The symptoms are those of the standard chlorosis, with all the leaves discolouring to pale green or dark yellow.

Iron sulphate applied at the rate of 5 and 10 g per plant in the husk has a striking effect in re-greening them and increases their weight considerably (see below).

Action of iron and manganese on plant weight at 20 months (in kg)

Treatments	Fe0	Fe1	Fe2	Main effect of Mn p. 100	
Mn0	31.3	100.6	125.3	85.7	(100)
Mn1	35.5	120.2	155.9	103.9 **	(121)
Mn2	29.1	124.7	158.0	103.9 **	(121)
Main effect of Fe p. 100	31.9 (100)	115.2 (361)	146.4 ** (459)		

The action of manganese is more subtle ; the plants increase by 21 p. 100 in weight against 359 p. 100 for iron. Manganese sulphate has no action in the absence of Fe fertilization. Once the Fe and Mn deficiencies are corrected, nitrogen and potassium deficiencies appear.

On bearing trees, the injection of urea alone has only a very slight effect on yield. On the other hand, Fe doubles the number of nuts produced ; the increase is a little bigger if manganese is associated with the iron ; the best combination is urea/iron sulphate/manganese sulphate.

The Fe and Mn levels in the leaf improve at the same time as N.

	Production in number of nuts					Leaf Analysis (1)					
	1960	1961	1962	1963	1965	1960			1963		
						N	Mn	Fe	N	Mn	Fe
Control	6	13	18	15	12				1.35	16	48
N	12	13	19	13	17	1.35	22	38	1.37	13	48
Fe	9	13	35	24	28	1.23	16	35	1.50	18	134
Mn, Fe	7	12	26	31	32	1.35	22	36	1.63	87	116
N, Mn, Fe	6	17	23	31	37	1.27	20	28	1.68	84	117

(1) N : in p. 100 dry matter ; Mn and Fe : in ppm dry matter.

Table XVIII (from Eschbach) shows that the Fe levels are somewhat variable, the lowest being on coral soils of the Polynesian atolls and the highest on the coastal sands of Madagascar. In the table below it will be seen that the contents depend on the type of soil and the pH value.

For manganese, the lowest contents are also on soils of coral origin, and the highest are on the quaternary sands of Africa. The influence of the pH of the soil is particularly clear in the New Hebrides and the Philippines, as the table below shows.

Country	Soil	pH	Total Soil Fe (p. 1 000)	Leaf Fe (ppm)			
				R1	R4	R9	R14
Philippines	Unweathered coral	8.1	36.3	45	80		
	Weathered coral	7.3	32.6		72	88	
	Sandy clay	6.0	22.9	57	69		
Ivory Coast	Quaternary sands	5.4	7.0		121	157	130
Mozambique	Quaternary sands	5.1	26.3	55	78		61
Polynesia	Coral limestone	8.2	0.3	28	23	24	38
New Hebrides	Coral limestone	7.9	7.1		74	79	80
	Clay soil				83	91	93

Country	Soil	pH	Mn total soil (ppm)	Leaf Mn (ppm)		
				R4	R9	R14
Polynesia	Coral limestone	8.2				18
New Hebrides	Coral soil	7.9				16
	Clay plateau soil	6.5				89
Philippines	Unweathered coral	8.1	≈ 600	59		
	Weathered coral	7.3		62	96	
	Sandy clay	6.0		90		
Ivory Coast	Quaternary sands	5.4	83		194	237
Madagascar	Quaternary sands	5.1	1 370		328	340

It is difficult to define a critical level. It has been shown in *Poly-nestia* and the *New Hebrides* that 30 ppm Mn in leaf 4 (2-year-old tree) was insufficient, and that manganese applications should be associated with iron.

c) Other Trace Elements.

● Aluminium.

The few known values for aluminium vary on the average from 6 to 127 ppm (leaf rank 9). In the Ivory Coast the Al levels increase with leaf rank (experiment PB-CC 29) :

Leaf rank	1	4	9	14	19	24	29
Al (in ppm)	9	14	23	33	36	42	48

The threshold of toxicity is unknown.

● Copper.

A copper deficiency has never been found on coconut and the optimum content is unknown. The application of copper in the form of chelates raises the Cu levels, but has no influence on growth or yield. Cu deficiencies are to be feared on peaty or sulphate soils.

A level of 5-7 ppm in leaf 14 seems sufficient.

● Molybdenum.

The mean levels are from 0.09 to 0.44 ppm.

A nursery trial in the Ivory Coast has shown that Mo applications raise the contents but remain without effect on the plant's growth.

Treatment	Mo level
Control	0.15 ppm
2 g Nutramin (0.5 p. 100 Mo)	0.42 ppm *
4 g Nutramin (0.5 p. 100 Mo)	0.54 ppm **

As for copper, a Mo deficiency has never been brought to light and it has not been possible to fix the critical level.

● Zinc.

The zinc contents vary from 15 ppm in the Ivory Coast to 24 ppm in Benin. In an Ivory Coast experiment (PB-CC 33) on P-B 121 hybrids, Eschbach shows that P or Mg applications increase the Zn levels significantly, whereas N or K applications lower them :

Treatments	Contents in presence of			
	N	P	K	Mg
Level 0	23.9	21.3	22.9	20.8
Level 1	20.1 **	22.2	22.0	22.3 **
Level 2		22.5 *	21.0 *	23.0 **

Here again, it is impossible to fix a critical level when there is no sign of deficiency.

d) Particular toxicity phenomena.

These few notes on the trace elements would not be complete without some mention of the case of phytotoxicity of fluorine seen in the Ivory Coast after the use of single superphosphate at 18 p. 100 P₂O₅ made from natural phosphates from Togo.

This phytotoxicity appears mainly on nursery plants where the substrate is composed of leached white sand poor in exchangeable bases, particularly Ca and total P.

In plantation, phosphated manuring involves no problem of fluorine toxicity, as the rates applied per unit of earth volume are much smaller than in a plastic bag nursery.

10. — The special case of Dwarf coconuts.

With the seed production techniques the seed gardens are composed mainly of mother-trees, pollination being entirely assisted. It is often Dwarf coconuts which are chosen as female parents for the production of seed of the Dwarf × Tall type.

The cost of running a seed garden is high, and every effort is made to produced the maximum amount of seed while taking all factors into account. Earlier observations have shown that the Mg levels in Dwarfs are lower than those usually found in Talls, and the visual deficiency symptoms are quite marked.

The hybrid seems to inherit this tendency ; in experiment PB-CC 5 in the Ivory Coast, studying several hybrids, the K and Mg

levels are lower in the Dwarf hybrids than in the Tall, even though all the coconuts got the same manuring. It is the Red and Green Dwarf hybrids which have the lowest contents :

	Levels in p. 100 dry matter	
	K	Mg
Tall × Tall	1.536	0.210
Yellow Dwarf × Tall	1.430	0.190
Red Dwarf × Tall	1.374	0.165
Green Dwarf × Tall	1.477	0.164

It was with a view to better management of fertilization in the seed gardens that a 3rd factorial experiment, DA-CC 3, studying N, K and Mg at three rates and P by splitting of the plots was set up in 1977 on Malayan Yellow Dwarf in the Ivory Coast.

In experiment F/9 on Green Dwarf, the Coconut Industry Board of Jamaica got no significant increase in the number of nuts in presence of potassium chloride, although the K contents levelled out at 0.5.

In Malaysia, Chew Poh Soon and Lee King Wat [55], in a 2nd factorial experiment studying N, P and K on Malayan Red Dwarf, obtained a positive and significant action of nitrogenous manuring on the growth of the plants (weight of leaves) and on the number of nuts per tree.

III. — INFLUENCE OF FERTILIZATION ON COPRA QUALITY, COPRA OIL CONTENT AND COPRAH OIL COMPOSITION

In a communication presented to the 13th Meeting of the International Potash Institute in York in 1977, Ochs and Ollagier [8] evoke this problem.

1. — Influence of fertilization on copra quality and copra oil content.

We have seen in paragraph 11-8 that Southern found that sulphur deficiency reduced the volume of the nuts, the copra being rubbery and poor in oil. Fertilization in the form of sulphur or sulphate quickly restores the copra to normal and brings the oil content back to 60 p. 100 only a few months after the first application.

Correction of the chlorine deficiency, which also leads to a low yield of small nuts, increases the copra/nut (par. 11-7-c).

The study of potassium has shown that potassic manuring very often leads to an increase in copra/nut.

Analyses of coconut oil have been undertaken in experiment PB-CC 16 to find out whether the potassic and magnesian manurings, which raise copra yield, have any effect on oil content. The first results show that there is no difference in oil content, whether the plots have been fertilized or not (constant value 72 p. 100).

2. — Influence of fertilization on coprah oil composition.

The latest analyses from experiment PB-CC 16 have shown no difference in coprah oil composition related to the fertilizers applied. However, it is not impossible that manuring has a long term effect.

IV. — FERTILIZER PRACTICE

Once the deficiency (or deficiencies) have been determined, the fertilizer is chosen, and the rate fixed in function of the gravity of the deficiency and the age of the tree.

The deficiencies are discovered by leaf analysis. Table XIX gives the overall trends around the world and the fertilizers recommended. Very often there is more than one deficiency, and their correction requires the application of several mineral elements. Although the proportions of the ingredients of the fertilizers do not correspond exactly to the coconut's requirements, it has been shown that apart from correcting potassium deficiency potassium chloride can limit that in chlorine (Ivory Coast), just as ammonium chloride makes up part of the Cl or N deficits (Philippines). As regards the latter, while the association of Cl and N deficiencies is common in Asia, locally-manufactured urea is not the best form of fertilizer, and one must resign oneself to buying ammonium chloride, for which the only supplier is Japan.

The rates required for correction of the deficiencies are determined by field experiment.

We have reviewed these problems in previous chapters ; we will not cite fertilizer rates given in function of the age of the trees, as they depend on the local context. But the mode and date of application require to be defined.

1. — Mode of Application.

In 1965 the I. R. H. O. laid down the rules for hand manuring of the coconut groves in West Africa, based on the results of its field experiments in which potassium chloride spread in a ring around the foot of the trunk helped to double the copra yield per tree.

The size of the ring depends on the age of the tree, and in general it is a circle drawn on the ground perpendicular to the tips of the fronds. At that time, the scale was as follows :

Age	Circle radius
1 year	0.40 m
2 years	0.50 m
3 years	0.80 m
4 years	1.20 m
5 years	1.60 m
6 years and over	2.00 m

This practice concentrates the fertilizer at the foot of the trunk. The method was confirmed by Ruer [5] in 1967 on oil palm ; he gave a larger radius to the circles.

This mode of application is logical in view of the way in which the coconut extends its root system, and it is unquestionable that in the pre-productive years the concentration of fertilizer around the plant in the zone where the roots are found gives it its fullest effectiveness.

The creation of commercial plantations, the socio-economic conditions specific to some regions, the need to find the most economical mode of fertilizer spreading, all led Ouvrier and Brunin [53] to study the development of the coconut's root system to find the age at which mechanical spreading is likely to be as effective as hand application. After studying trees of different ages, the authors conclude that mechanical spreading in the interline from 5 or 6 years on is more economical of fertilizer than manual application when the interline contains at least one third of the roots present in the manured ring.

However, there is a major drawback to mechanical spreading starting at 5 or 6 years : the decumbent fronds hamper the advance of the spreader and may be torn off, which could wound the trees and encourage the development of parasites.

Neither can this method be used in all situations. Apart from practical considerations (land drift, coral blocks), the trace elements cannot be spread mechanically as the rates are often minute (a few dozen grams). Placing the fertilizer in a hole at the foot of the tree or injecting it into the trunk are more effective ways of facilitating absorption.

2. — Date of Spreading.

Experiments done in Mozambique have shown how important is the choice of the date of manuring, the efficiency of the fertilizer depending on the minimum amount being dissolved by the rains. While spreading should not be done in the dry season, the torrential downpour of the tropical rainy season leaches the elements applied very heavily. The best period is when the rainfall is sufficient to facilitate absorption, and when the best use can be made of microbial activity.

In the big new development programmes, fertilization calls for considerable means in men and material for a relatively short period.

The I. R. H. O. has undertaken to study this problem in the Ivory Coast, comparing the effect of split applications with that of a single one at different times of the year. As there are two rainy seasons in the country, it was decided to apply before the main one and between the two.

The results are now known. There is very little effect on the growth of young plants, and no significant differences between single and split applications, before or between the rains.

On the other hand, the influence on the precocity of flowering is marked, the best result being with split applications and the worst when spreading is done before the main rainy season ; a single application between the two seasons gives an intermediary result.

These differences are found again at the time of the first yields. Manuring in one go between the two seasons is about equivalent to split applications, whereas when the fertilizers are given before the main rainy season, yield is smaller. The differences shrink with successive yields. Split applications are as advantageous as a single dressing between the rains.

This remark is important, as where there are material hindrances (transport, storage, spreading) it is preferable to lengthen the period of fertilizer application and make it easier to organize the commercial plantations, applying part of the manuring before the main rainy season and the rest between the two, rather than give the whole lot in one go on part of the plantations in April and the other part in August.

V. — PROFITABILITY OF FERTILIZATION. SUGGESTED ACTION

The whole of the present study up to now has shown that fertilization increases coconut yield rapidly when the nutrient status is

not optimum. Knowledge of the cause of a nitrogen deficiency makes it possible to choose the most economical method of correcting it, and manuring can raise yields by more than 50 p. 100 (Mozambique). In many regions the correction of potassium deficiency brings a large gain in copra/ha on the poorest soils, even doubling production.

In certain cases, and on the soils poorest in phosphorus, phosphated fertilization has proved effective and led to gains which can exceed 40 p. 100. Chlorated manuring results in a spectacular yield increase, certainly more than 100 p. 100, which is a very good outlook for the profitability of this fertilizer.

In many different combinations, magnesium can lead to increases of 40 p. 100. Without iron, the coconut groves of the Oceanian atolls have ridiculously small productions ; the injection of an iron salt doubles them, but it is in association with manganese and nitrogen that they are tripled. The preventive action of borated fertilizer on young coconuts avoids malformations which will retard the start of bearing in the plantation ; the financial loss due to this belatedness is extremely heavy compared to the modest cost of the fertilizer which will help to avoid it.

The profitability of fertilization naturally depends on the cost of the raw materials.

1. — Profitability.

All agronomists concerned with fertilizer problems try to define the profitability of the increased production they obtain in the coconut groves, as they consider that the planter should get an ample return for his efforts and for his expenditure.

At national level, the increased production due to fertilization has the added advantage of limiting copra imports and thus saving foreign exchange. On the other hand, the rising cost of energy, especially the upward trend of petrol prices, has considerable repercussions on production costs in general and on the price of fertilizers in particular.

Nonetheless, the world is well aware of the dire need to improve agricultural production to meet the growing demand created by a burgeoning population with rising living standards. Ho Kwon Ping (Far Eastern Economic Review, July 1979) speaks of the various problems which arise in the Asian agricultural sector, just where 90 p. 100 of the world's coconut groves are found, and more specifically of rural development in function of fertilizer costs. India's fertilizer demand is not met ; in Sri Lanka, where the cost of fuel doubled in June and where agriculture is heavily mechanized, 48 p. 100 of the 430 000 t of fertilizer imported was subsidized ; Bangladesh imports 50 p. 100 of its fertilizer requirements, estimated at 1 million t ; Thailand imports 80 p. 100, and received overseas aid for 11 p. 100 of its total consumption (700 000 t) ; it is the rice-growers who use most of the 770 000 t imported by Malaysia ; it is also a programme for speeding up rice growing which will augment fertilizer consumption from 800 000 t in 1979 to 1.4 million in 5 years time. Indonesia, on the contrary, has exported 500 000 t of urea to the Philippines, Pakistan and India, but has been obliged to import 2.7 million t of rice to meet the needs of its population, and it is estimated that in 1990 imports will be 3.5 million t !

But how much of this fertilizer do the coconut groves get, when numerous deficiencies have been detected all over the world ?

We replied to this question right at the beginning of this paper, by citing the Philippines, where it is estimated that only 30 000 out of the 2.7 million ha planted in coconut are fertilized-barely 1 p. 100 !

An analysis of the documents published by the F. A. O. on Indonesia, where there are 2.2 million ha of coconuts, show that total fertilizer consumption was 488 000 t in 1977, including 351 000 t of nitrogen, 107 000 t of phosphorus and 30 000 t of potash. In view of the fact that the nitrogen all went to crops such as rice, that phosphorus is not everywhere the prime limiting factor for coconut yield, and that a large part of the 30 000 t of potash was absorbed by oil palm plantations, we see that there was nothing much left for the 2.2 million ha of coconuts.

In Malaysia, with a more modest 300 000 ha of coconut, 88 p. 100 of the fertilizer is used for oil palm, rubber and rice ; the other 12 p. 100 are divided up between 3 300 ha of maize, 14 200 ha of vegetables, 19 200 ha of bananas, 33 300 ha of cocoa, 16 900 ha of pineapple and... 300 000 ha of coconuts. In the light of this and of Ho Kwon Ping's affirmation that most of the fertilizer is used for rice growing, it is easy to see that the coconut groves get precious little manuring.

Yet Coomans [27], working in the Ivory Coast on West African Tall, finds that allowing for the prices of fertilizer and copra, the variations in the economically optimum rates are small. To assure good mineral nutrition management, the author uses leaf analysis, and shows that manuring results in a large gain of which

the ratio : $\frac{\text{gain}}{\text{cost of fertilizer}}$ is equal to 3.4.

Ochs [8] confirms this profitability, referring to various authors in Sri Lanka ($R = 1.7$), the Philippines ($R = 2.8$), etc... In some situations in India, profitability can be from $R = 2.5$ to 3.6. On hybrid material 5 years old and with a formula combining potassic and magnesian fertilizer, Ochs finds $R = 8.7$! The whole investment in manuring shows a profit at 5 years on hybrid coconut, more precocious and higher-yielding.

Fertilization is therefore an excellent means of improving

productivity and meeting the increasing world demand for fats, particularly in the tropical zone. In some countries, a sensible fertilizer policy based on scientific results which have already proved their worth in commercial plantations, while it might not translate them from a famine situation to an age of affluence straight away would at least bring them to the sufficiency level and enable them to view the future with greater equanimity.

Because, after all, it is astonishing that with a potential of several million ha of coconut groves the third world countries find themselves obliged to import fats and oils.

Is this situation irremediable ?

2. — Suggested action.

Technically, the solution lies in a better knowledge of the soils and the classing of the deficiencies in order of importance. Leaf analysis is an excellent means of detecting deficiencies, and we can offer several examples. In Thailand, the F. A. O. fertilizer programme for 1974-1975 was based partly on the analysis of some 130 leaf samples, and this, together with soil analyses, led to the establishment of a manuring schedule.

In the Philippines the U. N. D. P. enquiry mentioned in paragraph II-7-c confirmed the great advantage of leaf analysis when mapping deficiencies. The Philippine plan was as follows :

- determination of the nutrient status of the coconut groves by leaf analysis ;
- interpretation of the results in the light of the specific characteristics of the plantations and the soils ;
- implantation of demonstration plots to check the action of the manuring chosen.

The latest publications by Magat [54] cited in paragraph II-7-c are an excellent illustration of the benefits of using leaf analysis as a method of detecting deficiencies. Copra per tree can be increased by 30 p. 100 and even as much as 200 p. 100.

However, a programme for renovating and modernising the coconut groves often comes up against problems other than agronomical ones. The project has to cope with the scattering of the holdings, the small size of each one (0.2 ha per family average in India), the poverty of the farmers, quite unable to finance any sort of improvement. Hence the importance of the methodology.

For the last few years the I. R. H. O. has been providing technical assistance to Indonesia which is interested in developing this crop ; two-thirds of the coconut oil goes for home consumption, and this has considerably increased, to such an extent that Indonesia has to import fats to satisfy the needs of its population.

The Indonesian Government has set up the Coconut Working Centres (C. W. C.), which are specialized action units at village level, coming under a Directorate General dealing with technical problems at regional level. The Directorate General of Plantations at the Ministry of Agriculture caps the whole which is very well structured. The C. W. C. :

- are responsible for about 3 000 ha,
- do the mass selection indispensable for obtaining the seed required for the nurseries,
- run the nurseries,
- assure the quality of the copra by training the farmers.

The tasks of the Centres develop all the time ; they can be completed by new techniques worked out by the research workers, high-level technical and scientific assistance defining their action for them. The I. R. H. O. has suggested a certain number of principles :

- maintain good liaison with research so as to be able to use the latest results in all fields ;
- interpret the studies undertaken by the National Research Centre and the regional units (demonstration plots) ;
- keep people informed by drawing up technical instructions for the C. W. C. agents and the farmers ;
- improve knowledge of the environment — pest control — determination of deficiencies and management of mineral nutrition ;
- prepare the future by laying down coherent development programmes taking the local context into consideration.

To sum up, the action of fertilizers on coconut yield is rapid, and the best use must be made of this fact by keeping to the following plan :

- define and characterize the soils,
- make a judicious choice of leaf samples,
- interpret the leaf analyses, taking account of the characteristics of the soils and climate ; determine the order of importance of the deficiencies,
- work out the fertilizer formulae,
- confirm these formulae in demonstration plots, the object of which is to convince the farmers of the profitability of the operation,
- set up a financing and credit structure.

The task is immense.

The combination of genetic improvement of the material and appropriate mineral manuring leads to very high yields, without

common measure with those of the past. The great precocity of the hybrid between Malayan Yellow Dwarf and West African Tall has been amply demonstrated, and so has its high yield potential which exceeds 6 t of copra/ha/year. However, such production is only obtained when the nutrient balance is close to optimum. For example, we have seen in paragraph II-3-d that in experiment PB-CC 16, where there is double deficiency, potassium and magnesium, an unfertilized coconut grove can only produce 33 p. 100 of its potential.

In the new planting or extension programmes, fertilization of the coconut groves must be allowed for, otherwise a large part of the production potential is likely to be lost.

Most of these programmes are now carried out with hybrid coconut, the seed being produced in seed gardens, of which there are a little more than 2 000 ha in the world. On stream, 1 ha of seed garden allows the planting of 60 ha of hybrid coconuts every year. The Philippines have the biggest seed garden in the world, which will cover 1 500 ha when it is completed. The Authorities foresee that within the next ten years the annual replanting capacity will be about 50 000 ha. After the fifth year, and on the basis of 400 kg of fertilizer per ha, the corresponding 750 000 ha will need 300 000 t of fertilizer/year, which is one-third of the tonnage used in 1979 for all the crops in the Philippines. The effect when 2 million ha have been replaced can be imagined, and the considerable economic impact of this technique on the whole archipelago can be seen, the more so that in this particular case it is nitrogen and chlorine which are the main deficient elements and ammonium chloride, by-product of glass-making, has every chance of showing good profitability.

There are three seed gardens in Indonesia ; they cover 730 ha in all, 150 are operational now and 350 will be in 1980. Calculating as before, it can be reckoned that it will be possible to plant 30 000 ha of hybrids each year. If, after the mineral nutrition is studied, it is found that the potassium, magnesium and phosphorus requirements are large, a national study will have to solve the problems of fertilizer supplies and foreign exchange payments for them. At the rate of 30 000 ha/year, the 150 000 ha of new plantings will require 60 000 t of fertilizer.

A choice must be made, either all the modern techniques worked out by man are used, the renovation of the coconut groves will be a source of well-being, or else it will be a source of problems because of all the disastrous economic repercussions which it engenders.

CONCLUSION

Sufficient results have been given in the foregoing study to show that fertilization can be the means of obtaining very considerable yield increases.

The progress of research in the last 20 years has led to better understanding of the agronomic problems of coconut plantations.

A methodology is taking form :

- Prospection by foliar diagnosis allied to a thorough knowledge of the soils is an excellent means of investigation for drawing the nutrient balance.

— The leaf analysis enquiry and its interpretation should be followed by the implantation of a supporting experimental network to test the hypotheses emitted, discover the degree of response and the threshold of profitability of fertilizers, and define the linkages between elements. It will be recalled that it was in the course of experimentation that the importance of chlorine in the coconut's nutrition was brought to light.

— The results acquired are passed on to the farmers by extension teams, who also assure the liaison with the loan organizations.

But the scientists cannot be satisfied as long as only 1 p. 100 of the coconut plantations are fertilized. We are bound to admit that such a low figure almost proves that research has been useless because of poor « research/development » co-ordination on a national scale, of a lack of « extension service/farmer » liaison, of a shortage of appropriate fertilizers in rural areas and of the difficulty in surmounting the financial problems.

The Ivory Coast stands out from the other countries because of the good co-ordination it maintains between research workers and those in charge of development. Its organization has enabled it to create 30 000 ha of new plantations, two-thirds of them commercial and entirely fertilized ; of the other third, farmed by villagers, only 40 p. 100 gets no manuring.

For the planners, there is a certain clash between the main options. Is it better to export nitrogenous fertilizer than to use it at home for food crops or for the ten times more profitable coconut ? It would be greatly to the benefit of the national economies if the state gave the farmers the fertilizers they need to increase their yields free of charge, even if a few per cent were knocked off the purchase price for copra. Perhaps this is worth thinking about ?

Since the obtaining of high coconut yields would be one of the ways of making up the fats deficit in countries where both population and consumption have grown uninterruptedly for the last 20 years, it is desirable that manuring coconut should become current practice as it is for the other crops. The solution resides partly in creating the scientific and technical support and the accompanying research.